

ISSN print 2712-9217 • №1 (9) • апрель • 2023
ISSN online 2712-9225 • DOI 10.29188/2712-9217

РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ И ЭЛЕКТРОННОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

RUSSIAN JOURNAL OF TELEMEDICINE AND E-HEALTH

■ Новые подходы
к диагностическим
информационным
системам в радиологии

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

■ Антропоморфные
роботы в медицине:
варианты технологий
и перспективы

Etta

ПОРТАТИВНЫЙ АНАЛИЗАТОР «ЭТТА АМП-01»

Создан для дома, точен как лаборатория!



ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ МОЧИ

- > Используется для проведения экспресс-анализа проб мочи
- > Построен на современных фотоэлектрических и микропроцессорных технологиях

ОПИСАНИЕ



- Доказано соответствие лабораторному оборудованию
- Результат за 60 секунд
- Доступна вся история анализов
- Результаты легко отправить врачу через любой мессенджер или электронную почту
- Компактен, помещается в карман, легко взять в дорогу
- Не нужно использовать специальные приспособления для сбора мочи у младенцев

11 исследуемых параметров

1. Глюкоза (GLU)
2. Билирубин (BIL)
3. Относительная плотность (SG)
4. pH (PH)
5. Кетоновые тела (KET)
6. Скрытая кровь (BLD)
7. Белок (PRO)
8. Уробилиноген (URO)
9. Нитриты (NIT)
10. Лейкоциты (LEU)
11. Аскорбиновая кислота (VC)



КАК ПРИОБРЕСТИ

Телефон для заказа: **+7 (926) 017-52-14**
info@ettagroup.ru

Приложение ETТА доступно для iOS и Android:



Производитель ООО «ЭТТА» ettagroup.ru

РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ И ЭЛЕКТРОННОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство ПИ № ФС 77 – 74021 от 19.10.2018

ISSN print 2712-9217; ISSN online 2712-9225; <https://doi.org/10.29188/2712-9217>

02 июня 2021 г. в запись о регистрации СМИ внесены изменения Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций в связи с изменением названия, изменением языка, уточнением тематики

ЦЕЛЬ ИЗДАНИЯ – информирование ученых, организаторов здравоохранения, практикующих врачей о реальных возможностях применения и об эффективности различных информационно-коммуникационных систем в медицине.

НАУЧНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ – электронное здравоохранение, телемедицина, медицинская информатика и кибернетика, мобильное здоровье, организация здравоохранения, дистанционное обучение, страховая медицинская телематика, медицинская аппаратура, биомедицинская инженерия, биоинформатика.

АУДИТОРИЯ – врачи всех специальностей, главные врачи ЛПУ, руководители IT-отделов ЛПУ, инженеры и разработчики медицинской техники и медицинского оборудования, руководители и сотрудники информационно-аналитических центров.

УЧРЕДИТЕЛЬ: Шадеркин Игорь Аркадьевич

Журнал представлен в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)

РЕДАКЦИЯ:

Издательский дом «УроМедиа»

Руководитель проекта В.А. Шадеркина

Дизайнер О.А. Белова

Редактор Д.М. Монаков, к.м.н.

Корректор Ю.Г. Болдырева

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

JTelemed.ru

Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения

Том 9. № 1. 1–72

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

Адрес и реквизиты редакции:

Издатель: ИД «УроМедиа»: 105094 Москва, ул. Золотая, 11

Тел.: +7 (926) 017-52-14; e-mail: info@uromedia.ru; editor@jtelemed.ru; viktoriashade@gmail.com

Редакция не несет ответственности за содержание публикуемых рекламных материалов.

В статьях представлена точка зрения авторов, которая может не совпадать с мнением редакции.

Перепечатка материалов разрешается только с письменного разрешения редакции.

Отпечатано в типографии «Тверская фабрика печати».

Тираж 500 экз.


<http://jtelemed.ru>

Russian Journal of Telemedicine and E-Health

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of communications, information technology and mass communications, certificate PI No. FS 77 – 74021 dated 19.10.2018

ISSN print 2712-9217; ISSN online 2712-9225; <https://doi.org/10.29188/2712-9217>

On June 2, 2021, the record on media registration was amended by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Media due to the change in the name, change of the language, clarification of the subject matter



THE PURPOSE OF THE JOURNAL is to inform scientists, healthcare managers, medical practitioners about the real application possibilities and the effectiveness of various information and communication systems in medicine.

THE SCIENTIFIC SPECIALIZATION OF THE JOURNAL is health, telemedicine, medical informatics and cybernetics, mobile health, healthcare organization, distance learning, medical insurance telematics, medical equipment, biomedical engineering, bioinformatics.

THE AUDIENCE OF THE JOURNAL consists of doctors of all specialties, chief doctors of healthcare facilities, heads of IT departments of healthcare facilities, engineers and developers of medical equipment, managers and employees of information and analytical centers.

FOUNDER: Igor Shaderkin

The journal is represented in the Russian Science Citation Index (RSCI)

EDITORIAL:

PUBLISHING HOUSE «UROMEDIA»

Project manager V.A. Shaderkina

Designer O.A. Belova

Editor D.M. Monakov, Ph.D.

Proofreader Yu.G. Boldyreva

CONTACT INFORMATION:

JTelemed.ru

Russian Journal of Telemedicine and E-Health

Volume 9. No. 1. 1–72

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

Address and details of the editorial office:

Publisher: Publishing House «UroMedia»: 105094 Moscow, st. Zolotaya, 11

Tel .: +7 (926) 017-52-14; e-mail: info@uromedia.ru; editor@jtelemed.ru; viktoriashade@gmail.com

The editors are not responsible for the content of published advertising materials.

The articles represent the point of view of the authors, which may not coincide with the opinion of the editorial board.

Reprinting of materials is allowed only with the written permission of the publisher.

Printed at the Tver Printing Factory.

500 copies.

<http://jtelemed.ru>

Благодарность рецензентам

Сотрудники редакции «Журнала телемедицины и электронного здравоохранения» выражают огромную признательность всем экспертам, которые принимают участие в работе над каждым выпуском журнала – отбирают самые качественные исследования, самые смелые экспериментальные работы, самые полные литературные обзоры и уникальные клинические случаи.

Ваша работа, коллеги, позволяет журналу повысить профессиональный уровень и предоставлять урологическому сообществу действительно новый качественный специализированный материал.

Огромное количество научных публикаций, поступающих на рассмотрение в редакцию журнала, не всегда соответствует высоким требованиям международных изданий. Вместе с редакцией наши рецензенты в свое личное время и совершенно бескорыстно выбирают достойные статьи, дорабатывают их для своевременной подготовки к публикации.

Ваши безупречные теоретические знания, бесценный практический опыт, умение работать в команде позволяют всегда найти правильные решения, которые соответствуют цели, задачам и редакционной политике нашего журнала.

Число рецензентов «Журнала телемедицины и электронного здравоохранения» постоянно растет – в настоящее время это более 10 ученых из России и зарубежных стран.

Выражаем благодарность рецензентам за детальный и скрупулезный анализ статей «Журнала телемедицины и электронного здравоохранения» №1 за 2023 г.

***С уважением и благодарностью,
редакция «Журнала телемедицины и электронного здравоохранения»***

To the Reviewers: Letter of Appreciation

The editorial board members of the «Russian Journal of Telemedicine and E-Health» is very grateful to all the experts, taking part in the workflow on each journal issue, selecting the highest quality research, the most daring experimental works, the most complete literature reviews and unique clinical cases.

Dear colleagues, your work allows to improve the journal professional level and provide the urological community with new high-quality specialized content.

A huge number of scientific publications, submitted to the journal editorial board, does not always meet the strict requirements of international publications. In cooperation with the editorial staff, our reviewers choose worthy articles and selflessly modify them for timely preparation for publication.

Your impeccable theoretical knowledge, invaluable practical experience and skill to work in a team allow you to find the only correct solutions that correspond with the goal, objectives and editorial policy of our journal.

The number of the «Russian Journal of Telemedicine and E-Health» reviewers is constantly growing – currently there are more than 10 scientists from Russia and foreign countries.

We express our gratitude to the reviewers for a detailed and thorough analysis of the articles of the «Russian Journal of Telemedicine and E-Health» № 1 (2023).

With respect and gratitude, the editorial board members of the «Russian Journal of Telemedicine and E-Health».

***With respect and gratitude,
the editorial board of the «Russian Journal of Telemedicine and E-Health»***

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: Владимирский А.В. – д.м.н., заместитель директора по научной работе ГБУЗ г. Москвы «НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ» (Россия, Москва)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: Шадеркин И.А. – к.м.н., заведующий лабораторией электронного здравоохранения Института цифровой медицины Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет, Россия, Москва)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: Шадеркина В.А. – научный редактор портала Uroweb.ru (Россия, Москва)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА:

Аполихин О.И. – член-корр. РАН, д.м.н, профессор, Директор НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России (Россия, Москва)

Гусев А.В. – к.т.н., руководитель GR-направления ассоциации «Национальная база медицинских знаний», эксперт компании «К-МИС» (Россия, Петрозаводск)

Зеленский М.М. – шеф-редактор Evercare.ru (Россия, Москва)

Калиновский Д.К. – к.м.н., доцент кафедры хирургической стоматологии ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького» (Донецк, ДНР)

Кузнецов П.П. – д.м.н., профессор, руководитель проектного офиса «Цифровая трансформация в медицине труда» ФГБНУ «НИИ медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова» (Россия, Москва)

Лебедев Г.С. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных и интернет-технологий Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Россия, Москва)

Монаков Д.М.– к.м.н., врач-уролог ГБУЗ ГКБ им. С.П. Боткина (Россия, Москва)

Натензон М.Я., к.т.н., академик РАЕН, Председатель совета директоров НПО «Национальное телемедицинское агентство» (Россия, Москва)

Сивков А.В. – к.м.н., заместитель директора по научной работе НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России (Россия, Москва)

Столяр В.Л. – к.б.н., заведующий кафедрой медицинской информатики и телемедицины ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (Россия, Москва)

Царегородцев А.Л. – к.т.н., доцент кафедры систем обработки информации, моделирования и управления ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет» (Россия, Ханты-Мансийск)

М. Джорданова – кандидат наук, научный сотрудник Института космических исследований и технологий Болгарской академии наук (София, Болгария)

Ф. Ливенс – MBA, исполнительный секретарь Международного общества телемедицины и электронного здравоохранения (Гримберген, Бельгия)

П. Михова, – М.С., руководитель Программного совета Департамента здравоохранения и социальной работы Нового Болгарского Университета (София, Болгария)

EDITORIAL BOARD:

CHIEF EDITOR: Vladzimirskyy A.V. – MD, PhD, Deputy Director for Scientific Work, Moscow State Budgetary Healthcare Institution «Scientific and Practical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies DZM» (Russia, Moscow)

DEPUTY CHIEF EDITOR: Shaderkin I.A. – PhD, Head of the e-Health Laboratory of the Institute of Digital Medicine of the First Moscow State Medical University them Sechenov (Sechenov University, Russia, Moscow)

EXECUTIVE SECRETARY: Shaderkina V.A. – scientific editor of the portal Uroweb.ru (Russia, Moscow)

EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL:

Apolikhin O.I. – Corresponding member RAS, MD, PhD, Professor, Director of the Research Institute of Urology and Interventional Radiology N. Lopatkina – branch of the Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Center of Radiology» of the Ministry of Health of Russia (Russia, Moscow)

Gusev A.V. – Ph.D., head of the GR-direction of the association «National base of medical knowledge», expert of the company «K-MIS» (Russia, Petrozavodsk)

Zelensky M.M. – Editor-in-chief Evercare.ru (Russia, Moscow)

Kalinovsky D.K. – PhD, Associate Professor of the Department of Surgical Dentistry of the State Educational Institution of Higher Professional Education «Donetsk National Medical University named after M. Gorky» (Donetsk, DPR)

Kuznetsov P.P. – MD, PhD, Professor, Head of the Project Office «Digital Transformation in Occupational Medicine» of the FSBSI «Research Institute of Occupational Medicine. Academician N.F. Izmerov» (Russia, Moscow)

Lebedev G.S. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information and Internet Technologies of the First Moscow State Medical University them Sechenov (Russia, Moscow)

Monakov D.M. – PhD, GBUZ GKB im. S.P. Botkina (Russia, Moscow)

Natenzon M.Ya. – Ph.D., Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Chairman of the Board of Directors of the NPO National Telemedicine Agency (Russia, Moscow)

Sivkov A.V. – PhD, Deputy Director for Scientific Work of the Research Institute of Urology and Interventional Radiology named after N.A. Lopatkina – branch of the Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Center of Radiology» of the Ministry of Health of Russia (Russia, Moscow)

Stolyar V.L. – Ph.D., Head of the Department of Medical Informatics and Telemedicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peoples' Friendship University of Russia» (Russia, Moscow)

Tsaregorodtsev A.L. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Processing Systems, Modeling and Control of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Yugorsk State University» (Russia, Khanty-Mansiysk)

M. Jordanova – PhD, Researcher in Space Research & Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences (Sofia, Bulgaria)

F. Lievens – MBA, Executive Secretary of International Society for Telemedicine and eHealth (Grimbergen, Belgium)

P. Mihova, – M.S., Head of Program council, Department of Health care and Social Work, New Bulgarian University (Sofia, Bulgaria)

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	6
------------------	---

■ ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

А.Г. Бажанов, А.В. Соловьев, А.О. Чернов, В.Е. Ушаков, А.Н. Шапиев, Е.В. Соколова, В.А. Гомболевский, В.Е. Дробаха, А.Е. Николаев Новые подходы к диагностическим информационным системам в радиологии.....	7
---	---

■ АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Г.С. Лебедев, И.А. Шадеркин, Н.А. Лебедева Модифицируемые факторы среды помещения: влияние на здоровье человека и цифровой мониторинг.....	21
В.А. Шадеркина, А.И. Шадеркина, А.А. Петрушин Антропоморфные роботы в медицине: варианты технологий и перспективы.....	49
В.А. Шадеркина, А.В. Лелюк, Д.В. Алтунин Виртуальная реальность (VR) в педиатрии: международный и российский опыт.....	60

Contents	6
----------------	---

■ LITERATURE REVIEW

A.G. Bazhanov, A.V. Solovev, A.O. Chernov, V.E. Ushakov, A.N. Shapiev, E.V. Sokolova, V.A. Gombolevsky, V.E. Drobakha, A.E. Nikolaev New approaches to diagnostic information systems in radiology.....	7
---	---

■ ANALYTICAL REVIEW

G.S. Lebedev, I.A. Shaderkin, N.A. Lebedeva Modifiable Indoor Environmental Factors: Impact on Human Health and Digital Monitoring.....	21
V.A. Shaderkina, A.I. Shaderkina, A.A. Petrushin Anthropomorphic robots in medicine: technology options and prospects.....	49
V.A. Shaderkina, A.V. Lelyuk, D.V. Altunin Virtual reality (VR) in pediatrics: international and russian experience.....	60

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-7-20>

Новые подходы к диагностическим информационным системам в радиологии

Литературный обзор

**А.Г. Бажанов¹, А.В. Соловьев^{2,5}, А.О. Чернов¹, В.Е. Ушаков¹, А.Н. Шапиев⁵,
Е.В. Соколова⁴, В.А. Гомболевский³, В.Е. Дробаха⁶, А.Е. Николаев¹**

¹ ООО «Телерадиология и Информационные Системы», IT-департамент; д. 28, ул. Соколова-Соколенка, Владимир, 600027, Россия

² ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; д. 24, стр. 1, ул. Петровка, Москва, 127051, Россия

³ АНО «Институт искусственного интеллекта»; д. 32, к. 1, Кутузовский просп., Москва, 121170, Россия

⁴ ООО «Сбер», Лаборатория по Искусственному Интеллекту; д. 44-48, корп. 3, стр. 1, ул. Бакунинская, Москва, 107082, Россия

⁵ ГБУЗ «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы»; д. 1/9, 4-й Добрынинский переулок, Москва, 119049, Россия

⁶ ФГБОУ ВО «ПГМУ им. ак. Е.А. Вагнера» Минздрава России; д. 26, ул. Петропавловская, Пермь, 614990, Россия

Контакт: А.В. Соловьев, atlantis.929292@gmail.com

Аннотация:

Первые электронные информационные системы для помощи составления радиологических отчетов появились еще в середине 1960-ых годов и были внедрены в первую очередь в отделениях лучевой диагностики здравоохранения.

Благодаря развитию и достижениям в области информационных технологий в радиологии, была внедрена система архивации и передачи изображений (Picture Archiving and Communication System (PACS)), это способствовало уменьшению этапов рабочих процессов в рутинной практике врача радиолога в сравнении с использованием классических систем в основе, которых пленки и бумага.

Также использование PACS привело к повышению эффективной работы отделения лучевой диагностики ускорив получение изображений для врачей диагностов и клиницистов, снизив затраты на отделение, ускорив написание протоколов исследований, увеличивая количество исследований для проведения и описания.

Использование современных информационных систем имеет ряд преимуществ, таких как хранение большого количества данных, объединение и хранение разрозненных информационных систем медицинской организации, получение полного доступа к электронной медицинской карте пациента, что в свою очередь, ускоряет рабочие процессы и увеличивает эффективное взаимодействие персонала больницы.

Таким образом, трудно переоценить значимость таких систем для врачей лучевой диагностики и врачей других специализаций, что может повлиять на диагностику и улучшение качества оказания помощи пациентам.

В данном обзоре собрана актуальная информация о работе информационных систем в отделениях лучевой диагностики.

Ключевые слова: радиологическая информационная система; PACS; системы передачи и архивации DICOM изображений; телерадиология; рентгенологическая информационная система; информационная система; медицинская информационная система.

Для цитирования: Бажанов А.Г., Соловьев А.В., Чернов А.О., Ушаков В.Е., Шапиев А.Н., Соколова Е.В., Гомболевский В.А., Дробаха В.Е., Николаев А.Е. Новые подходы к диагностическим информационным системам в радиологии. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2023;9(1):7-20; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-7-20>

New approaches to diagnostic information systems in radiology

Literature review

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-7-20>**A.G. Bazhanov¹, A.V. Solovev^{2,5}, A.O. Chernov¹, V.E. Ushakov¹, A.N. Shapiev⁵, E.V. Sokolova⁴, V.A. Gombolevsky³, V.E. Drobakha⁶, A.E. Nikolaev¹**¹ Teleradiology and Information Systems LLC, IT department; 28, st. Sokolova-Sokolenko, Vladimir, 600027, Russia² GBUZ «Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Health of the City of Moscow»; 24, building 1, st. Petrovka, Moscow, 127051, Russia³ ANO «Institute of Artificial Intelligence»; 32, building 1, Kutuzovsky prospekt, Moscow, 121170, Russia⁴ Sber LLC, Artificial Intelligence Laboratory; 44-48, bldg. 3, building 1, st. Bakuninskaya, Moscow, 107082, Russia⁵ Morozov Children's City Clinical Hospital of the Department of Health of the City of Moscow; 1/9, 4th Dobryninsky lane, Moscow, 119049, Russia⁶ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «PSMU named after ak. E.A. Wagner» of the Ministry of Health of Russia; 26, st. Petropavlovskaya, Perm, 614990, Russia**Contact:** A.V. Solovev, atlantis.929292@gmail.com**Abstract:**

The first electronic information systems to help compile radiological reports appeared in the mid-1960s and were introduced primarily in radiology departments of healthcare.

Due to the development and achievements in the field of information technology in radiology, a system of archiving and transmission of images (Picture Archiving and Communication System (PACS)) was introduced, this helped to reduce the stages of work processes in the routine practice of a radiologist in comparison with the use of classical systems based on films and paper.

Also, the use of PACS has led to an increase in the effective work of the radiation diagnostics department by speeding up the acquisition of images for diagnosticians and clinicians, reducing the costs of the department, speeding up the writing of research protocols, increasing the number of studies to conduct and describe.

The use of modern information systems has a number of advantages, storing a large amount of data, combining and storing disparate information systems of a medical organization, obtaining full access to the electronic medical record of the patient, which in turn accelerates work processes and effective interaction of hospital staff.

Thus, dependence on these information systems by radiation diagnosticians and doctors of other specializations can affect the diagnosis and improvement of the quality of patient care.

This review contains up-to-date information about the work of information systems in radiology departments.

Key words: Radiology Information System; PACS; Picture Archiving and Communication Systems; Teleradiology; Xray Information System; information systems; Hospital Information Systems.

For citation: Bazhanov A.G., Soloviev A.V., Chernov A.O., Ushakov V.E., Shapiev A.N., Sokolova E.V., Gombolevsky V.A., Drobakha V.E., Nikolaev A.E. New approaches to diagnostic information systems in radiology. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2023;9(1):7-20; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-7-20>

■ ВВЕДЕНИЕ

Первые электронные информационные системы для помощи составления рентгенологических отчетов появились еще в середине 1960-ых годов и были внедрены в первую очередь в отделениях лучевой диагностики здравоохранения [1].

Благодаря развитию и достижениям в области информационных технологий в лучевой диагностике, была внедрена система архивации и передачи изображений (Picture Archiving and Communication System (PACS)), это способствовало сокращению этапов рабочих процессов в рутинной практике врача-рентгенолога по

сравнению с использованием классических систем, использующих пленку и бумагу. Также использование PACS привело к повышению эффективности работы отделений лучевой диагностики, ускорив получение изображений для врачей, снизив затраты на отделение, ускорив подготовку протоколов исследований, высвобождая время для потенциального увеличения количества исследований. Использование современных информационных систем имеет ряд преимуществ: хранение большого количества данных, объединение и хранение разрозненных информационных систем медицинской организации, получение полного доступа к электронной медицинской карте (ЭМК) пациента, что в

свою очередь ускоряет рабочие процессы и улучшает взаимодействия между медицинским персоналом. Таким образом, применение информационных систем в лучевой диагностике оказывает значительное влияние на объемы и качество оказания медицинской помощи населению [2].

В данной статье рассмотрены основные элементы и новые подходы к формированию информационных систем в отделениях лучевой диагностики, патоморфологии и других структурных подразделений. Важными плюсами современных PACS серверов является их мобильность. Установка подобных систем не занимает много времени, они имеют высокие показатели стабильной работы, которая обеспечивается при любой скорости локального интернета, что в свою очередь позволяет снизить затраты на техническое обслуживание и делает ее общедоступным вендором.

■ РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ/ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Со временем локальные PACS каждого диагностического аппарата стали объединять в единый цифровой архив клиники, совмещать с рабочим листом, что позволяло не только стандартизировать работу отделения лучевой диагностики, но и повышает эффективность его работы. При выборе и организации работы информационной системы в рамках региона, важ-

ным критерием является конечная стоимость аппаратных средств и компьютерных комплектующих, на котором будет введена в эксплуатацию система PACS, информационная система и программа просмотра и обработки изображений, что формируют конечную стоимость продукта, в особенности, когда планируется центральный архив медицинских изображений. Разработанные в Российской Федерации радиологические информационные системы (РИС) должны соответствовать рекомендациям министерства здравоохранения (МЗ) Российской Федерации (РФ) по обеспечению функциональных возможностей РМИС от 23.06.2016, а также соответствие требованиям МЗ РФ No 911н от 24.12.2018 «Об утверждении требований к ГИС в сфере здравоохранения субъектов РФ», а также должны быть включены в реестр отечественного ПО.

Безусловно, исполнение всех юридических аспектов в период создания и использование информационной системы остается важным для разработчиков и пользователей. Еще одним важным и, зачастую, определяющим фактором использования и выбора такой системы остается ее быстродействие и спектр функциональных возможностей.

Среди наиболее важных функций выделяют:

- Администрирование радиологической информационной системой;
- Администрирование диагностическим процессом с наличием сформированного плана работы и списка пациентов (worklist); ►►

Таблица 1. Требования к PACS в зависимости от времени
Table 1. PACS requirements depending on the time

	Сегодняшние PACS / РИС	Будущие PACS / РИС
Изображение Picture	Управление изображениями (DICOM)	Возможность управления данными
Архивирование Archiving	Хранение данных	Обработка данных (подлежащая действию) в том числе при помощи алгоритмов на основе ИИ
Коммуникация Communication	Бесструктурные данные	Семантическая сеть* (Открытая Модель Данных Пациента)
Система System	Оборудование	Программное обеспечение

*Семантическая сеть — информационная модель предметной области, имеет вид ориентированного графа.

*Semantic network is an information model of the subject area, which has the form of an oriented graph.

- Формирование и выгрузку статистической информации по работе отделения, города, региона;
- Обеспечение удобной работы врача-диагноста:
 - Многофункциональная работа с DICOM изображениями;
 - Доступ к системе передачи и архивации DICOM исследований (PACS);
 - Доступ к клиническим данным пациента;
 - Интеграция программы обработки изображений с компьютер-ассистированным диагностику;
 - Тriage ургентных исследований;
- Контроль качества проведенных исследований;
 - Контроль качества протоколов исследований;
 - Модули телеконсультаций (телерадиология, телепатоморфология, теле-ЭКГ и т.д.) (рис. 1);

- Современная интеграция в медицинскую информационную систему и национальный цифровой контур (рис. 2);
- Личный кабинет пациента;
- Возможность формирования регионального медицинского архива.

■ УПРАВЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

На сегодняшний день, необходимость управление диагностическим процессом, при помощи диагностической информационной системы, является необходимостью в повышении эффективности работы отделения лучевой диагностики. Стандартизация процесса позволяет минимизировать влияние человеческого фактора в процессе регистрации данных пациента в системе. Такие данные как анамнестические данные, информации о типе услуги,



Рис. 1. Внешний вид поисковой системы «Connexum» и «Комета»
 Fig. 1. The appearance of the search engine of radiologic information system «Connexum» and «Kometa»

формы оплаты, отделения, цели и задачи исследования, могут быть исключены для ввода путем их автоматической интеграции.

Вышеперечисленные возможности позволяют не только сократить время работы с паспортными и медицинскими данными и правильно выбрать протокол сканирования, но и врачу акцентировать свое внимание на определении задач при описании, что особенно важно при urgentных состояниях, при планировании хирургического лечения и оценке в динамике течения заболевания у онкологических пациентов.

Поскольку радиологи и другие врачи становятся все более зависимыми от информационных систем, установлено, что улучшенный доступ к полной электронной медицинской информации о пациенте может повлиять на качество диагностического процесса и потенциально улучшить результаты лечения пациентов. Современные информационные системы способны обеспечить ряд преимуществ, связывая разрозненные информационные системы больниц, содержащих уникальные источники первичных данных о пациенте, такие как PACS для диагностических изображений, РИС для

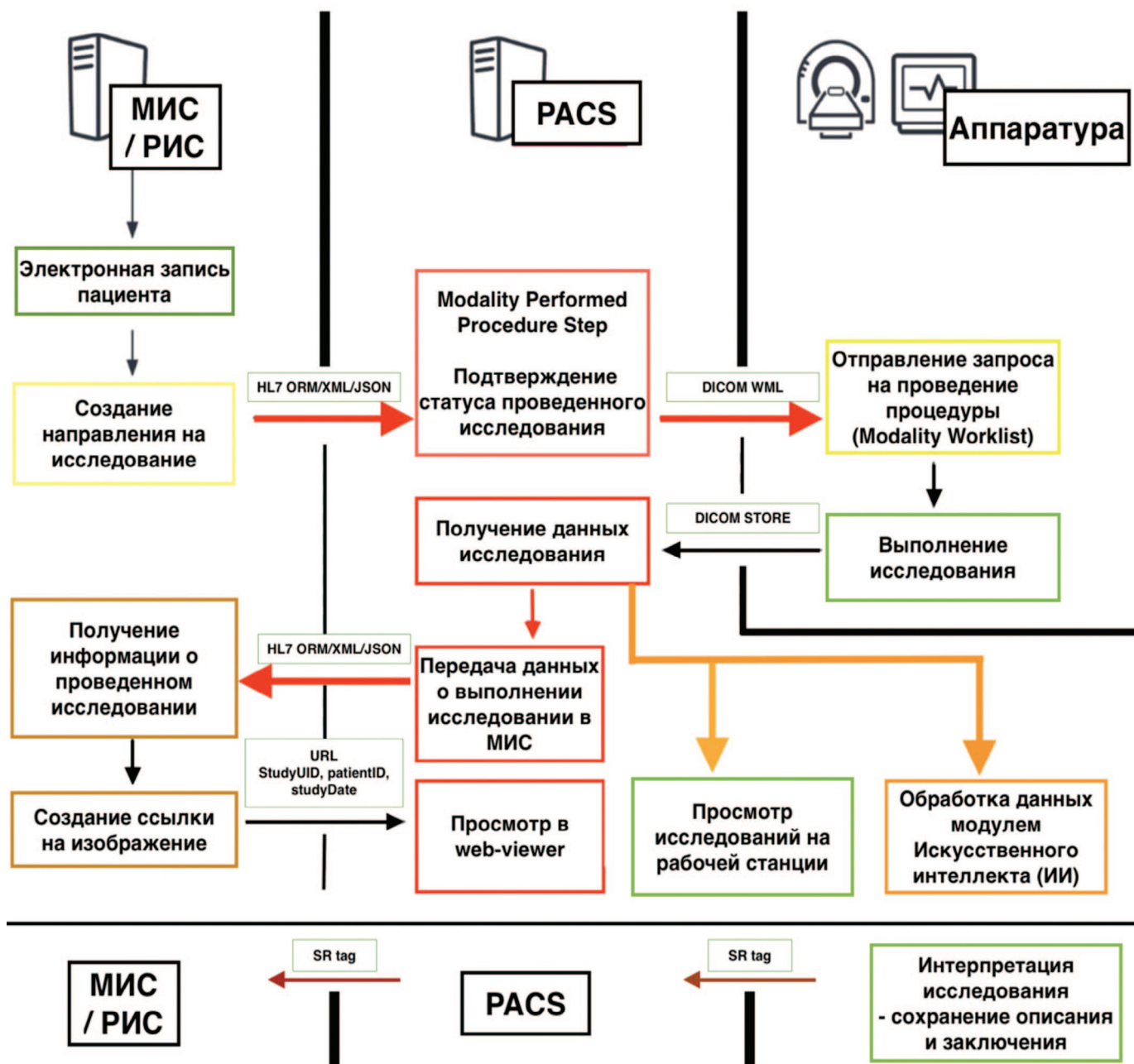


Рис. 2. Современная интеграция в медицинскую информационную систему
 Fig. 2. Modern integration into the medical information system

планирования обследования и отчетности по диагностике, а также общие информационные системы больницы для других клинических данных.

Планирование обследования:

- Идентификация пациента в ЕРП/ЕРЗЛ при создании направления
- Определение ресурса при создании направления:
 - 1) кабинет выполнения исследования;
 - 2) диагностическое устройство;
 - 3) рентгенолаборант;
 - 4) врач-рентгенолог.

Зачастую, врачи рентгенологи получают только медицинские изображения для интерпретации без предоставления клинических данных о пациенте, либо не полные клинические данные, которые не полностью информируют о состоянии пациента по сформулированной цели обследования в направлении на исследование.

Предоставляемые данные, часто являются краткими, неструктурированными и, возможно, неточными. Растущий интерес к пациент-центричной, персонализированной медицине и повышению качества оказания медицинской помощи формирует задачи преодоления этих проблем. Корректное введение первичных статистических данных, для учета, в том числе демографических и клинических показателей жизненно важен для управления процессами внутри медицинской организации, а также важен для врача рентгенолога в выборе оптимального метода исследования и протокола сканирования, с качественной последующей интерпретацией результатов обследования и формирования рекомендаций по дальнейшему ведению пациентов.

Управление информационной системой является сложным процессом, включающим в себя управление реестром пользователей, реестром диагностических устройств, мони-



Рис. 3. Рабочее окно специалиста IT-службы в PACS
Fig. 3. Working window for IT service specialist, which setting up PACS

торинг состояния ресурсов серверов для предупреждающего реагирования и обеспечения бесперебойности работы, мониторинг за системой уведомления о событиях. Безопасное управление системой осуществляется представителями ИТ-службы в штатном порядке (рис. 3).

■ ТЕЛЕРАДИОЛОГИЯ, ТЕЛЕПАТОЛОГИЯ И ДРУГИЕ ВЫЗОВЫ ДЛЯ ДИС

В Российской Федерации был внедрен порядок организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий согласно приказу Минздрава РФ от 30.11.2017 г. №965н и вступил в силу в январе 2018 года [3].

Телемедицинские технологии в РФ преимущественно распространены для решения диагностических задач в сфере лучевой и функциональной диагностики занимая лидирующее положение в данной области здравоохранения страны. Для этого были установлены радиологические информационные системы, которые работают в отдельных медицинских организациях и в целых административно-территориальных единицах, таким образом во многих субъектах РФ на основе РИС был создан централизованный архив медицинских изображений (ЦАМИ) благодаря которому объединяется множество рабочих мест и диагностических устройств, а результаты накапливаются в ЦАМИ. Это привело к большим плюсам, таким как: быстрой передаче данных между удаленными лечебно-диагностическими участниками процесса, уменьшение повторного (дублирующего) исследования за счет доступа к ранее сделанным первичным диагностическим изображениям [4].

Финансовые показатели работы радиологических телемедицинских технологий представлены в сравнительном анализе статистических показателей и финансовых затрат отделения пилотной медицинской организации до (2016 г.) и после (январь-июнь 2017 г.) При анализе отчетности было установлено [3, 4]:

- зафиксировано снижение фонда оплаты труда на 59%;
- выявлено снижение затрат на фотолабораторию на 40% при переходе на цифровую рентгенографию;

- установлено снижение себестоимости одного исследования до 30%;

- определено сокращение помещений, занимаемых отделениями на четверть.

Согласно данным изученного финансового отчета, было установлено, что объем Сэкономленны (сохраненных) средства (в размере до 19,2 млн руб.) значительно превосходят фактически разовые затраты на организацию и внедрение телерадиологических систем в медицинской организации, которые, в настоящее время, оцениваются в среднем размере до 2 млн руб.

С января 2017 г. количество ставок в отделении рентгенологической диагностики сокращено с 17 до 7 (в 2,4 раза), что привело к повышению средней заработной платы на 126,4% [5].

Согласно полученных данным, система телерадиологии имеет широкое распространение в работе врачей радиологов на территории и других государств, в том числе Соединенных Штатах Америки (США). Специалисты отмечают удобство применения системы при удаленном (дистанционном) описании протоколов исследований, возможности для увеличения охвата оказания квалифицированной помощи в удаленных территориях, не имеющих специалистов на местах [6].

Расширение использования медицинских информационных систем (МИС) позволяет хранить клинические данные в электронном виде, однако использование этой информации для специалистов лучевой диагностики накладывает некоторые трудности [1, 7-10].

Большой проблемой остается использование не унифицированных МИС даже в рамках одной медицинской организации. Для интерпретации исследований, изучения клинических данных специалистам лучевой диагностики часто приходится использовать отдельные рабочие станции, разное программное обеспечение и учетные данные для доступа к медицинской электронной информации. Очень часто этот процесс сопровождается переходом на другой компьютер с выполнением дополнительного или отдельного входа в очередную медицинскую систему и ручное извлечение данных. Данные манипуляции несут большие временные затраты, что неприемлемо в рамках телерадиологии на большом потоке.

Таким образом, наилучшее решение РИС в данном случае – это наличие бесшовного ►

доступа к истории болезни и ЭМК при интерпретации изображений. Наиболее эффективной и удобной реализацией такой задачи может стать обеспечение доступа к рабочему пространству через Web-клиент. Нужно отметить, что также сохраняется возможность использо-

ванием врачом-рентгенологом и привычного для него программного обеспечения для интерпретации исследований путем сохранения возможности отправки исследований из РИС или PACS в программу-просмотрщик, в котором предпочитает работать врач рентгенолог (рис. 3).

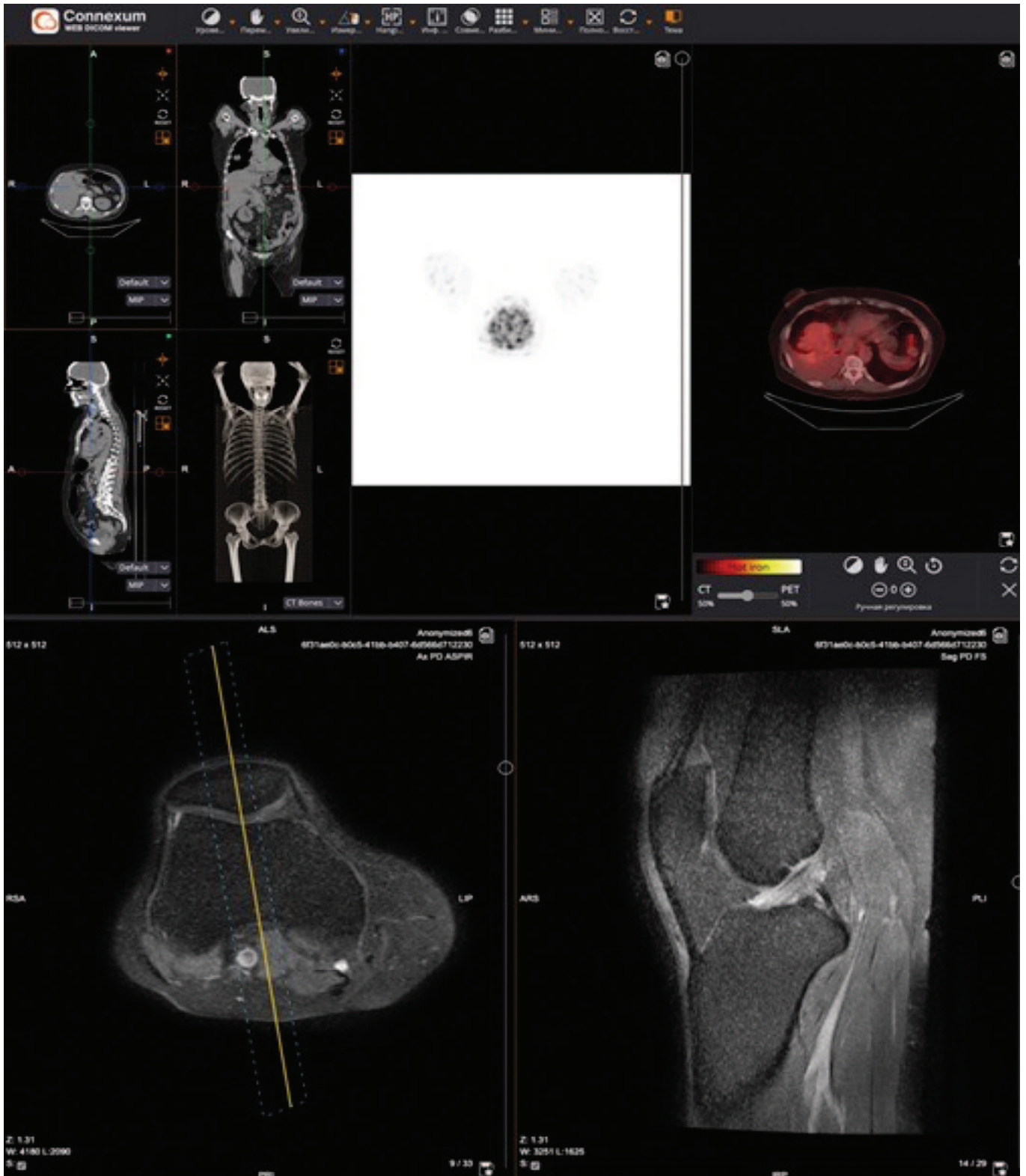


Рис. 4. Пример API-просмотрщик
 Fig. 4. Example of an API viewer

В рамках центров дистанционных описаний возможно проведения аудита или внутреннего контроля качества, направленного как на оценку качества проведения исследования, так и описания. Тем не менее для проведения данных широкомасштабных мероприятий радиологическая информационная система должна быть насыщена гибкими инструментами для аудита и возможностью формирования сводных статических данных по окончании внутреннего контроля, а также наличием сигнальных систем для заведующего отделением и врача, описывающего исследование, при найденных критических ошибках.

Современные информационные системы позволяют не только обеспечить работу врача диагноста со структурированными протоколами, а также позволяют формировать индивидуальное задание в виде рабочего списка для формирования описаний, как в автоматическом режиме (шаблонное распределение при втором чтении или двойном чтении) или в ручном режиме (распределение заведующим). Обеспечивается возможность производить мониторинг времени описания исследования, приоритезировать задания (триаж) в ручном, автоматическом (в том числе получаемых от сервисов ИИ-данных) режимах.

Задача перед будущими РИС заключается в эффективном представлении огромного и растущего объема данных, интегрированных в одну информационную систему. Залис и Харрис разработали программируемую поисковую систему для МИС, которая позволяла запрашивать медицинские записи пациентов в режиме реального времени [11]. Система сохраняла структурированные сложные запросы, фильтровала набор данных ЭМК по более определенным подмножествам и передавала результаты поиска в удобочитаемую форму, такую как веб-браузер или другое программное обеспечение. Преимущества системы были подчеркнуты примером проекта, который включал запрос, созданный для использования перед интервенционными процедурами, что в конечном итоге обеспечивает такую же удовлетворенность и точность поиска, как и ручной поиск ЭМК, при одновременном сокращении времени поиска в 8 раз. В будущем следует продолжить работу по оптимизации интеграции клинической и

рентгенографической информации. Например, предпринимаются усилия по встраиванию изображений из РИС и других систем клинической визуализации в ЭМК, что должно повысить точность и эффективность ведения пациентов при одновременном повышении удовлетворенности врачей и пациентов за счет сотрудничества и обмена информацией [12].

Активно развивается внедрение цифровых технологий в патологоанатомическую службу, технология, которая переводит в цифровой формат изображения патологоанатомических препаратов [13]. Для этого необходимы микроскопы или сканирующие средства, которые сканирует и переводит в цифровое изображение, программное обеспечение для работы с микроскопом и обработки данных и сервер хранящий в себе оцифрованные патологоанатомические препараты, таким образом к данной системе можно получить из любой географической точки, это позволяет повысить эффективность патологоанатомической службы и в особенности в тех местах, где нехватка кадров по данной специализации, что позволяет дистанционно анализировать данные помогая коллегам в проведении диагностики.

Технология сканирования и анализа гистологических изображений применяются в оценке эффективности иммунотерапии опухолей, оценке тканей до и после химиотерапии, позволяет произвести подсчет иммунцитов например при раке предстательной железы, так как у пациентов с высоким риском развития данной патологии отмечается повышение плотности опухоли инфильтрирующие В-клеток в препаратах простатэктомии, также отмечается преимущества микроскопов-сканеров перед обычными световыми микроскопами например, возможность анализа и сравнение данных, в том числе с использованием искусственного интеллекта, упрощенная демонстрация на консилиумах и при обучении студентов и врачей [14].

Диагностическая информационная система должна позволять хранить патоморфологические данные для дальнейшего анализа и постановки диагноза, данные исследования сможет получить пациент, для предоставления данных в любом медицинском учреждении, что позволит, например, минимизировать ►►

повторные биопсии, или для организации консилиумов врачей в том числе междисциплинарных, так как все необходимые данные будут в цифровом формате.

Одна из систем оцифровки и сканирования патоморфологических препаратов и дальнейшей загрузки в диагностическую систему NanoZoomer S360 Digital slide scanner C13220-01, использующую до 360 стекол и сканированием препаратов на стандартных увеличениях 20x и 40x. Скорость сканирования занимает около 30 секунд. Данный аппарат зарегистрирован как медицинское устройство и разрешен для использования на территории РФ.

Сфера теле-патоморфология (телемедицины – телепатология) – создает потребность в разработке новых технологий. Пример окна для просмотра патоморфологических исследований в диагностической системе представлен на рисунке 5.

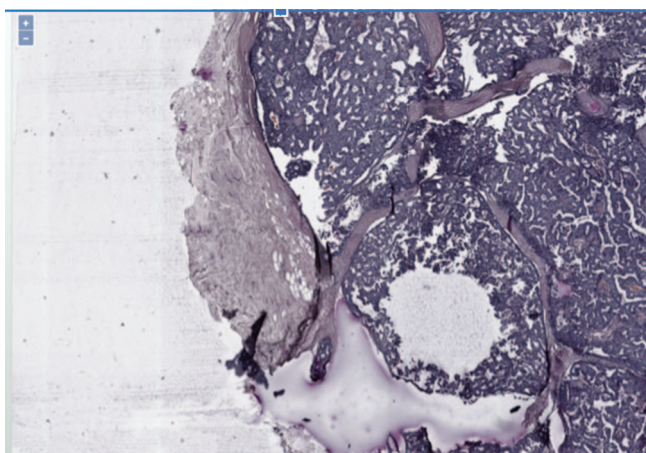


Рис. 5. Окна для просмотра патоморфологических исследований
Fig. 5. Windows for viewing of pathomorphological studies

Сложность операций внутри РИС создает многочисленные проблемы для оценки эффективности и качества работы отделений. Тем не менее хотелось бы подчеркнуть, что огромное количество доступных данных используется не в полной мере, в основном из-за множества источников данных и отсутствия удобного сбора, анализа и отображения данных. Концепция «цифровой приборной панели» использовалась во множестве других сложных систем для преодоления этих проблем, и ее применение в радиологии становится все более распространенным [15]. Общая цель панели мониторинга лучевой диагностики, как и панелей мониторинга в других системах, заключается в бы-

стром представлении данных в режиме реального времени, которые могут быть использованы для облегчения оперативных корректировок. Это заимствовано из устоявшихся принципов бизнес-аналитики и аналитики, в которых инструменты анализа данных предоставляют средства для более частого внесения небольших корректировок, основанных на фактических данных, обеспечивая повышенную прозрачность, меньшее и меньшее количество общесистемных перерывов и, теоретически, повышение эффективности и качества [16].

Доступные дашборды обширны, включая обратную связь с рентгенлаборантом, управление рабочим процессом рентгенолога и показатели качества описания отделения [15-22]. Однако существуют определенные конструктивные соображения, которые следует применять в большинстве случаев. Во-первых, эффективная панель мониторинга должна иметь возможность агрегировать и хранить данные из нескольких систем; это достигается путем извлечения из исходных систем и хранения в централизованном хранилище данных. Данные должны быть проиндексированы таким образом, чтобы они были доступны на нескольких платформах. Затем на основе этих данных выполняется аналитика и отображается в веб-графических пользовательских интерфейсах (рис. 6) [16].

Диагностическая информационная система эффективно должна справляться при большой нагрузке на систему PACS при высоком количестве исследований за сутки, в особенности во время скрининговых (диспансерных) исследований (например, скрининг рака легких или молочных желез), позволяет проводить мультимодальную диагностику при наличии у пациента КТ или ПЭТ/КТ для сравнения в динамике и для изучения на консилиумах, врачи онкологи смогут изучить патоморфологические исследования, благодаря возможности данных исследований загружать в систему и использовать не только протокол описания патоморфолога, что может способствовать поставить более точный диагноз по классификации TNM. В клинической практике диагностическая информационная система может быть полноценной медицинской подсистемой лечебного учреждения в рамках единой медицинской информационно-аналитической системой (ЕМИАС), что

позволит включить в себя все диагностические исследования, как лучевой диагностики, патоморфологии, эндоскопические исследования, функциональной диагностики.

Современную радиологическую информационную систему можно без особого труда интегрировать в медицинскую информационную систему любого лечебного учреждения с дальнейшей возможностью, идентификация поступающих результатов исследований в соответствии с регистром пациентов и сохранение их в базе данных, доступ к результатам исследований для пользователя, проведение дистанционных консультаций по результатам выполненных исследований таких, как второе мнение, поиск и просмотр истории болезни пациентов и их исследований.

Для обследуемых система также должна быть удобна, так как мы живем в эру пациент-центрированных сервисов. Пациент получает протоколы заключения и медицинские изображения в формате DICOM с помощью QR-кода

или ссылки, которые прикреплены к протоколу описания или присылаются на почту и пересылают пациента на веб-страницу личного кабинета в диагностической информационной системе с помощью чего сможет показать данные описания лечащему врачу и самостоятельно скачать DICOM файлы изображений.

Радиологи приобретают клинический опыт в каждом конкретном случае. Однако для оптимизации процесса обучения и самосовершенствования необходима обратная связь. Данная обратная связь часто приходит в форме последующих клинических данных, таких как отчеты в рамках контроля, отчеты из отделения патологии (финальный диагноз), лабораторные данные, клинические визиты и последующая визуализация, что позволяет обучаться на рабочем месте при условии, что система хранит данные всех методик. Многие системы используются для отслеживания интересных или сложных случаев с наличием напоминанием при появлении в системе данных патоморфологии ►►



Рис. 6. Дашборды, используемые в лучевой диагностике [23]
Fig. 6. Dashboards used in radiology departments [23]

(электронное письмо самому себе). Современная цифровая среда обеспечивает идеальную среду для надежных решений в области информатики и обучении в процессе работы. Будущие диагностические системы должны позволять собирать данные от данных лучевой диагностики до патоморфологии с формированием атласов патологии по анатомическим системам, что можно после анонимизации использовать в обучении студентов, ординаторов, врачей в рамках совершенствования.

■ ВОЗМОЖНОСТИ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В РАМКАХ ИИ

В последнее десятилетие все больше растет влияние систем искусственного интеллекта (ИИ) на оказание медицинской помощи. Инструменты и сервисы на основе ИИ могут улучшить прогноз, диагностику и планирование лечения. Считается, что в ближайшем будущем ИИ станет неотъемлемой частью медицинских услуг и будет официально включен в некоторые аспекты клинической помощи. Таким образом, многие технологические компании и государственные проекты вкладывают ресурсы в создание клинических инструментов и медицинских приложений на основе ИИ, чтобы повысить качество оказания медицинской помощи и снизить расходы на здравоохранение.

При этом понимание движущих сил принятия решений и барьеров, которые приводят к отказу от использования сервисов на основе ИИ в оказании медицинской помощи, имеет основополагающее значение для поставщиков медицинских услуг и больниц, которые планируют внедрить и/или увеличить присутствие систем ИИ во время оказания медицинской помощи.

Исторически сложилось так, что медицинский сектор не интегрирует технологии так быстро, как другие отрасли. Более того, без участия, сотрудничества и одобрения заинтересованных сторон (таких как медицинские работники и пациенты) и надежной законодательной и нормативной базы интеграция ИИ в текущий медицинский рабочий процесс может быть очень сложной.

Медицинские специалисты являются одними из самых важных бенефициаров и пользователей инструментов на основе ИИ, чье восприятие

может повлиять на дальнейшее использование таких сервисов в широкой практике. Если медицинское сообщество не считает взаимодействие с тем или иным инструментом ИИ полезным, такие сервисы могут остаться неиспользованными.

Современная PACS система является связующим звеном между врачом диагностом и решениями на основе ИИ, так как позволяет автоматизированную или ручную отправку исследований в формате DICOM на анализ ИИ. После обработки сохраняется отдельная серия в виде SR-tag (structured reporting) в которой отображаются результаты обработки. Тем не менее для рентгенолога важна и визуализационная информация с наличием выделенных патологических изменений, что позволяет больше доверять таким системам.

Наиболее известные и обсуждаемые опасения в отношении медицинских сервисов на основе ИИ связаны с недоверием к технологическим механизмам ИИ, вопросами конфиденциальности, отсутствием официальных отраслевых стандартов использования ИИ в реальном клиническом процессе, формализованного взаимодействия с ними медицинских специалистов и ответственность сторон в рамках такого взаимодействия. При этом часто недооценивается важность быстрой и бесшовной интеграции сервисов ИИ в существующий рабочий процесс врача, не усложняющий установленные клинические сценарии работы. Добавление лишних шагов в процесс оказания лечебной помощи за счет необходимости переключения между различными медицинскими системами и дополнительного мануального управления сервисом ИИ провоцирует отказ от его использования на практике. Таким образом, опыт конечного взаимодействия врача с инструментом ИИ является критически важным и определяет их фактическое применение в медицинской практике.

В связи с этим на международном рынке активно развиваются решения для интеграции ИИ-экосистем в текущие клинические рабочие процессы и ИТ-инфраструктуры. Такие компании, как Osimis и MedDream предоставляют веб-инструменты просмотра DICOM и решения для медицинской визуализации, открытые для интеграции сервисов ИИ, таким образом расширяя возможности доступа к ним и использования в работе, а также облегчая процесс междисциплинарной диагностики [24, 25].

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уже более 40 лет отделения лучевой диагностики первыми внедряют технологии, внедряя новейшие инновации в областях, выходящих за рамки здравоохранения, для улучшения своей клинической практики. Начиная с ранних усовершенствований серверов и баз данных, и развиваясь с помощью новых технологий и рабочих процессов, таких как удаленное распространение изображений и телерадиология, радиологические отделения находятся под постоянным давлением, требующим как автоматизации, так и совершенствования своей практики за счет инновационного использования современных информационных технологий. Радиология продолжает оставаться одной из самых высокотехнологичных клинических областей, потенциально служа ключевым испытательным полигоном для специалистов в области информационных технологий, стремящихся улучшить качество, эффективность и уход за пациентами за счет улучшения доступа к соответствующим клиническим данным и инновационным программным средствам. Сами радиологи могут тратить больше времени, чем врачи любой другой специальности, непосредственно взаимодействуя с компьютерными системами при оказании помощи пациентам, и у них есть все воз-

можности для того, чтобы возглавить трансформацию медицины с помощью электронных медицинских карт, которая в настоящее время осуществляется. Мы считаем, что практика радиологии будет продолжать развиваться благодаря инновационным технологиям и что существует несколько перспективных областей возможностей для тех, кто хочет улучшить уход за пациентами как в радиологии, так и во всей системе здравоохранения.

С развитием высоких технологий появилась возможность создать единую информационную систему для медицинских организаций, которая отвечает современным запросам в здравоохранении, такие как высокая скорость загрузки данных и изображений, повышение эффективности лечебно-диагностических мероприятий, сокращение затрат времени на анализ исследований, что приводит к увеличению количества анализа проводимых исследований, способствует уменьшению нагрузки на бюджет лечебного учреждения. Медицинские организации, использующие данную систему, получают возможность использования системы для оказания помощи «в полевых» условиях или сельской местности при условии наличия не скоростного кабельного или мобильного интернета. //

ЛИТЕРАТУРА

- Ash JS, Bates DW. Factors and forces affecting EHR system adoption: report of a 2004 ACMI discussion. *J Am Med Inform Assoc* 2005;12:8–12.
- Nance Jr JW, Meenan, Ch, Nagy PG. The future of the radiology information system. *Am J Roentgenol* 2013;200(5):1064–70.
- Владимирский А.В., Морозов С.П. Ликбез по телерадиологии. [Электронный ресурс]. URL: <https://medvestnik.ru/content/articles/Likbez-po-teleradiologii.html>
- Morozov SP, Vladzimirsky AV, Ledikhova NV. Teleradiology in the Russian Federation: state-of-art. *Information Technologies for the Physician* 2019;2:67–73.
- Morozov S.P., Shelekhov P.V., Vladzimirsky A.V. Modern approaches to the radiology service improvement. *Clinical Gerontology* 2019;56:30–34.
- Rosenkrantz A.B., Hanna T.N., Steenburg S.D., Tarrant MJ, Pyatt RS, Friedberg EB. The current state of teleradiology across the united states: A national survey of radiologists' habits, attitudes, and perceptions on teleradiology practice. *J Am College Radiol* 2019;16(12):1677–1687.
- Bates DW, Gawande AA. Improving safety with information technology. *N Engl J Med* 2003;348:2526–2534.
- Berner ES, Detmer DE, Simborg D. Will the wave finally break? A brief view of the adoption of electronic medical records in the United States. *J Am Med Inform Assoc* 2005;12:3–7.
- Jha AK, DesRoches CM, Campbell EG, Donelan K, Rao SR, Ferris TG, et al. Use of electronic health records in U.S. hospitals. *N Engl J Med* 2009;360:1628–1638.
- Middleton B, Hammond WE, Brennan PF, Cooper GF. Accelerating U.S. EHR adoption: how to get there from here: recommendations based on the 2004 ACMI retreat. *J Am Med Inform Assoc* 2005;12:13–19.
- Zalis M, Harris M. Advanced search of the electronic medical record: augmenting safety and efficiency in radiology. *J Am Coll Radiol* 2010;7:625–633.
- Ratib O, Swiernik M, McCoy JM. From PACS to integrated EMR. *Comput Med Imaging Graph* 2003;27:207–215.
- Niazi MKK, Parwani AV, Gurcan MN. Digital pathology and artificial intelligence. *Lancet Oncol* 2019;20(5):e253–61.
- Лебедев Г.С., Шадеркин И.А., Тertychny А.С., Шадеркина А.И. Цифровая патоморфология: создание системы автоматизированной микроскопии. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения* 2021;7(4):27–47. [Lebedev G.S., Shaderkin I.A., Tertychny A.S., Shaderkina A.I. Digital pathomorphology: creation of an automated microscopy system. *Russian Journal of Telemedicine and E-Health* 2021;7(4):27–47. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2021-7-4-27-47>.
- Morgan MB, Branstetter BF 4th, Mates J, Chang PJ. Flying blind: using a digital dashboard to navigate a complex PACS environment. *J Digit Imaging* 2006;19:69–75.
- Nagy PG, Warnock MJ, Daly M, Toland Ch, Meenan ChD, Mezrich RS. Informatics in radiology: automated Web-based graphical dashboard for radiology operational business intelligence. *Radio-Graphics* 2009;29:1897–1906.
- Minnigh TR, Gallet J. Maintaining quality control using a radiological digital X-ray dashboard. *Journal of digital imaging* 2009;84–88.
- Nagy PG, Pierce B, Otto M, Safdar NM. Quality control management and communication between radiologists and technologists. *J Am College Radiol* 2008;7:759–765.
- Awan OA, Wagenberg F, Daly M, Safdar N, Nagy P. Tracking delays in report availability caused by incorrect exam status with web-based issue tracking: A quality initiative. *Journal of digital imaging* 2011;300–307.
- Chen R, Mongkolwat P, Channin DS. RadMonitor: radiology operations data

ЛИТЕРАТУРА

mining in real time. *Journal of Digital Imaging* 2008;21:257–268.

21. Morgan MB, Branstetter BF 4th, Lionetti DM, Richardson JS, Chang PJ. The radiology digital dashboard: effects on report turnaround time. *Journal of Digital Imaging* 2008;21:50–58.

22. Seltzer SE, Kelly P, Deibel GM, Ros P. Radiology quality and performance metrics on the Web: a management information and communications tool. *Academic radiology* 2000;7:981–985.

23. Europe PMC. [Electronic resource]. URL: <https://europepmc.org/articles/PMC5114222/figure/Fig3/>

24. Osimis. [Official Website]. [Electronic resource]. URL: <http://www.osimis.io/> [Accessed: 13-Aug-2018].

25. DICOM Viewer Open to Medical Artificial Intelligence. [Electronic resource]. URL: <https://www.softneta.com/solutions/dicom-viewer-open-to-medical-artificial-intelligence/> (Accessed: 25 march 2023).

Сведения об авторах:

Бажанов А.Г. – заместитель начальника Информационного Вычислительного центра, IT-департамент, ООО «Телерадиология и Информационные Системы», <https://orcid.org/0000-0002-6422-966X>; Владимир, Россия

Соловьев А.В. – врач-рентгенолог, отделение лучевой диагностики, ГБУЗ «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы», <https://orcid.org/0000-0003-4485-2638>; Москва, Россия

Чернов А.О. – сотрудник IT-департамента, ООО «Телерадиология и Информационные Системы», <https://orcid.org/0000-0001-5576-9771>; Владимир, Россия

Ушаков В.Е. – сотрудник IT-департамента, ООО «Телерадиология и Информационные Системы», <https://orcid.org/0000-0003-4029-8115>; Владимир, Россия

Шапиев А.Н. – научный сотрудник, отдел ДПО, ГБУЗ «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы», <https://orcid.org/0000-0002-1890-6711>; Москва, Россия

Соколова Е.В. – сотрудник ООО «Сбер», Лаборатория по Искусственному Интеллекту, <https://orcid.org/0000-0002-9985-1328>, Москва, Россия

Гомболевский В.А. – сотрудник АНО «Институт искусственного интеллекта», <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>; Москва, Россия

Дробаха В.Е. – рентгенолог, к.м.н., научный сотрудник ФГБОУ ВО «ПГМУ им. ак. Е.А. Вагнера» Минздрава России, <https://orcid.org/0000-0001-8523-2692>; Пермь, Россия

Николаев А.Е. – сотрудник IT-департамента, ООО «Телерадиология и Информационные Системы», <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>; Владимир, Россия

Вклад авторов:

Бажанов А.Г. – дизайн исследования, определение научного интереса, 20%

Соловьев А.В. – литературный обзор, определение научного интереса, 10%

Чернов А.О. – литературный обзор, написание текста, 10%

Ушаков В.Е. – литературный обзор, написание текста, 10%

Шапиев А.Н. – дизайн исследования, написание текста, 10%

Соколова Е.В. – подготовка научных литературных источников, 10%

Гомболевский В.А. – написание текста, 10%

Дробаха В.Е. – написание текста, 10%

Николаев А.Е. – написание текста, 10%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Статья поступила: 07.02.23

Рецензирование: 01.03.23

Результаты рецензирования: 05.03.23

Принята к публикации: 10.03.23

Information about authors:

Bazhanov A.G. – Deputy Head of the Information Computing Center, IT Department, Teleradiology and Information Systems LLC, <https://orcid.org/0000-0002-6422-966X>; Vladimir, Russia

Soloviev A.V. – radiologist, radiology department, Morozov Children's City Clinical Hospital of the Moscow City Health Department, <https://orcid.org/0000-0003-4485-2638>; Moscow, Russia

Chernov A.O. – employee of the IT department, Teleradiology and Information Systems LLC, <https://orcid.org/0000-0001-5576-9771>; Vladimir, Russia

Ushakov V.E. – employee of the IT department, Teleradiology and Information Systems LLC, <https://orcid.org/0000-0003-4029-8115>; Vladimir, Russia

Shapiev A.N. – researcher, department of further vocational education, Morozov Children's City Clinical Hospital of the Moscow City Health Department, <https://orcid.org/0000-0002-1890-6711>; Moscow, Russia

Sokolova E.V. – employee of Sber LLC, Artificial Intelligence Laboratory, <https://orcid.org/0000-0002-9985-1328>, Moscow, Russia

Gombolevisky V.A. – an employee of the ANO Institute of Artificial Intelligence, <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>; Moscow, Russia

Drobakha V.E. – radiologist, candidate of medical sciences, researcher of FSBEI HE "PSMU named after ak. E.A. Wagner" of the Russian Ministry of Health, <https://orcid.org/0000-0001-8523-2692>; Perm, Russia

Nikolaev A.E. – employee of the IT department, Teleradiology and Information Systems LLC, <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>; Vladimir, Russia

Authors contributions:

Bazhanov A.G. – study design, definition of scientific interest, 20%

Soloviev A.V. – Literature review, definition of scientific interest, 10%

Chernov A.O. – literature review, text writing, 10%

Ushakov V.E. – literature review, text writing, 10%

Shapiev A.N. – study design, text writing, 10%

Sokolova E.V. – preparation of scientific literary sources, 10%

Gombolevisky V.A. – writing text, 10%

Drobakha V.E. – writing text, 10%

Nikolaev A.E. – writing text, 10%

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

Financing. The study was performed without external funding.

Received: 07.02.23

Reviewing: 01.03.23

Peer review results: 05.03.23

Accepted for publication: 10.03.23

<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 вентиляции, 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., заключающееся 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/ m^3) < хороший ($2,39 \pm 1,47 \times 10^5$ клеток/ m^3) < слабо загрязненный ($5,38 \pm 3,26 \times 10^5$ клеток/ m^3) < сильно загрязненный ($5,93 \pm 3,45 \times 10^5$ клеток/ m^3) < очень сильно загрязненный ($7,23 \pm 3,49 \times 10^5$ клеток/ m^3) < средне загрязненный ($7,38 \pm 4,43 \times 10^5$ клеток/ m^3). 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-

рекрестном 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, подвергнувшиеся 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, Sundareshan 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-Мартинс 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. MelӀendez-FernӀendez 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

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-49-59>

Антропоморфные роботы в медицине: варианты технологий и перспективы

Литературный обзор

В.А. Шадеркина¹, А.И. Шадеркина², А.А. Петрушин²

¹ Урологический информационный портал Uroweb.ru; д. 11, ул. Золотая, Москва, 105094, Россия

² Институт клинической медицины направление «Персонализированная медицина» Первого Московского Государственного Медицинского Университета им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовского университета); д. 8, стр. 2, ул. Трубецкая, Москва, 119048, Россия

Контакт: Шадеркина Анастасия Игоревна, nastyashade01@yandex.ru

Аннотация:

Введение. Антропоморфные роботы со временем могут занять особую нишу в медицине, выполняя сложную в физическом отношении, а также эмоционально однообразную работу. По мере внедрения искусственного интеллекта, АР будут усложняться, а их функции расширяться.

Материалы и методы. Для обзора по антропоморфным роботам были изучены зарубежные и российские научные публикации. Необходимо отметить, что российский сегмент научных публикаций по ключевым словам «антропоморфные роботы», «гуманоидные роботы», «социальные роботы» крайне мал и не отражает имеющийся на данный момент мировой практики. Из зарубежных источников отобраны 20 статей. Разработаны 2 собственные классификации – медицинских роботов и антропоморфных медицинских роботов.

Результаты. В последние годы наблюдается взрывной рост развития робототехники. Наряду с промышленными, военными, сервисными роботами своим путем идет развитие медицинских роботов. Универсальный антропоморфный робот – это сложная совокупность опорно-двигательного аппарата, механических конечностей, системы распознавания голоса, пространства и нейросетей, способных обрабатывать и понимать окружающую обстановку и голосовые команды. Отличительный признак АР на время написания статьи: отсутствие когнитивных способностей и физической автономии. Описано применение АР в отдельных медицинских областях, сделана попытка определить социальные аспекты АР.

Выводы. Наибольшим спросом антропоморфные (гуманоидные) роботы в медицине будут пользоваться для ухода за пожилыми и за пациентами с ограничением двигательных функций, во время пандемий или других потенциально опасных для жизни человека ситуациях.

В будущем на этапе внедрения искусственного интеллекта требуется тщательная проработка законодательства и системы безопасности таких роботов. В настоящее время стоимость АР достаточно высока, однако в перспективе снижение стоимости будет сопряжено с отсутствием затрат на изменение среды использования таких роботов, что, возможно, будет экономически оправданным. Важнейшим аспектом применения АР является эмоциональное взаимодействие с человеком и безопасность последнего.

Ключевые слова: антропоморфные роботы; гуманоидные роботы; медицина; медицинские роботы.

Для цитирования: Шадеркина В.А., Шадеркина А.И., Петрушин А.А. Антропоморфные роботы в медицине: варианты технологий и перспективы. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2023;9(1):49-59; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-49-59>

Anthropomorphic robots in medicine: technology options and prospects

Literature review

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-49-59>

V.A. Shaderkina¹, A.I. Shaderkina², A.A. Petrushin²

¹ Urological information portal Uroweb.ru, 11, Zolotaya st., Moscow, 105094, Russia

² Institute of Clinical Medicine of the First Moscow State Medical University n.a. I.M. Sechenov of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), 8, bld. 2, Trubetskaya st., Moscow, 119048, Russia

Contact: Anastasia I. Shaderkina, nastyashade01@yandex.ru

Introduction. Anthropomorphic robots may eventually occupy a special niche in medicine, performing physically demanding, as well as emotionally monotonous work. As artificial intelligence is introduced, ARs will become more complex and their functions will expand.

Materials and methods. For a review on anthropomorphic robots, foreign and Russian scientific publications were studied. It should be noted that the Russian segment of scientific publications for the keywords «anthropomorphic robots», «humanoid robots», «social robots» is extremely small and does not reflect the current world practice. 20 articles were selected from foreign sources. 2 own classifications have been developed – medical robots and anthropomorphic medical robots.

Results. In recent years, there has been an explosive growth in the development of robotics. Along with industrial, military, service robots, the development of medical robots is going its own way. A universal anthropomorphic robot is a complex combination of a musculoskeletal system, mechanical limbs, a voice recognition system, space and neural networks capable of processing and understanding the environment and voice commands. The hallmark of AR at the time of writing: lack of cognitive ability and physical autonomy. The use of AR in certain medical fields is described, an attempt is made to determine the social aspects of AR.

Conclusions. The greatest demand for anthropomorphic (humanoid) robots in medicine will be for caring for the elderly and for patients with limited motor functions, during pandemics or other potentially life-threatening situations.

In the future, at the stage of introducing artificial intelligence, a thorough study of the legislation and the security system of such robots is required. Currently, the cost of AR is quite high, but in the future, cost reduction will be associated with the absence of costs for changing the environment for using such robots, which may be economically justified. The most important aspect of the use of AR is emotional interaction with a person and the safety of the latter.

Key words: anthropomorphic robots; humanoid robots; medicine; medical robots.

For citation: Shaderkina V.A., Shaderkina A.I., Petrushin A.A. Anthropomorphic robots in medicine: technology options and prospects. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2023;9(1):49-59; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-49-59>

■ ВВЕДЕНИЕ

Идея осуществить замену человеку не нова: в 1495 году великий изобретатель Леонардо да Винчи спроектировал механического рыцаря, которого можно назвать первым антропоморфным роботом. С помощью системы тросов, рычагов, роликов находящийся внутри доспехов рыцаря механизм работал и мог имитировать человеческие движения [1].

Одно из первых использований роботов как замены функций или определенных видов деятельности человека было представлено Комиссией по атомной энергетике США в 1949 году – Master-slave Manipulators (MSM, Model-1) в виде автоматизированного манипулятора, предназначенного для осуществления работ с радиоактивными материалами. Данное устройство не относится к антропоморфным роботам (АР), но, тем не менее, было призвано к осуществлению функций, ранее выполнявшихся людьми.

Антропоморфные роботы со временем могут занять особую нишу в медицине, выполняя сложную в физическом отношении, а также эмоционально однообразную работу. По мере внедрения искусственного интеллекта, АР будут усложняться, а их функции расширяться.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для обзора по антропоморфным роботам были изучены зарубежные и российские научные

публикации. Необходимо отметить, что российский сегмент научных публикаций по ключевым словам «антропоморфные роботы», «гуманоидные роботы», «социальные роботы» крайне мал и не отражает имеющийся на данный момент мировой практики. По ключевым словам «медицинские роботы», «роботы в медицине» публикаций больше, но в основном они содержат информацию о хирургических роботизированных системах в различных областях медицины.

Для данного обзора отобрано 20 публикаций из зарубежных научных источников. Разработаны 2 собственные классификации – медицинских роботов и антропоморфных медицинских роботов.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

В последние годы наблюдается взрывной рост развития робототехники. Наряду с промышленными, военными, сервисными роботами своим путем идет развитие медицинских роботов. По итогам суммирования имеющихся на данный момент видов медицинских роботов, нами предложена классификация медицинских роботов (рис. 1).

Антропоморфный робот – робот, способный воспроизводить некоторые характеристики человека, имитируя такие отличительные черты, как внешний вид и движения.

Универсальный антропоморфный робот – это сложная совокупность опорно-двигательного аппарата, механических конечностей, системы распознавания голоса, пространства и нейросе-

тей, способных обрабатывать и понимать окружающую обстановку и голосовые команды. Отличительный признак AP: отсутствие когнитивных способностей и физической автономии.

В основе создания антропоморфных роботов лежат **антропоморфные технологии (АТ)** – это технологии, которые «копируют» человека и мотивируют **антропоморфизм**, то есть приписывание человекоподобных характеристик нечеловеческим объектам.

Классификация антропоморфных медицинских роботов (AMP) по внешней конструкции

1. Механические роботы – в общих чертах воспроизводят отдельные черты человека.
2. Гуманоидные роботы – роботы, по форме напоминающие человеческое тело. Как правило, роботы-гуманоиды имеют туловище, голову, две руки и две ноги, хотя некоторые роботы-гуманоиды могут копировать только часть тела.

3. Андроиды (Geminoid DK) – гуманоидные роботы, созданные так, чтобы эстетически максимально напоминать людей.

Антропоморфные роботы со временем могут занять особую нишу в медицине. По данным ReportsnReports, в 2022 году рынок роботов-гуманоидов оценивался в 1,5 млрд долларов США и, по оценкам, достигнет 17,3 млрд долларов США к 2027 году, что означает среднегодовой темп роста в 63,5% в период с 2022 по 2027 годы. Такая динамика рынка объясняется растущим развитием роботов-гуманоидов с расширенными функциями, все более широкое использование роботов-гуманоидов в образовательных целях, розничной торговле, для личной помощи и растущий спрос на роботов-гуманоидов в медицинском секторе. Однако высокие первоначальные затраты и расходы на исследования и разработки, необходимые для разработки передовой робототехники, сдерживают рост рынка. Аналитики считают, что ►►



Рис. 1. Классификация медицинских роботов, предложенная авторами статьи, 2023 год
 Fig. 1. Classification of medical robots proposed by the authors of the article, 2023

наибольшим спросом антропоморфные (гуманоидные) роботы в медицине будут пользоваться для ухода за пожилыми пациентами в Азиатско-Тихоокеанском регионе, в т. ч. Китай, Япония. Это объясняется ростом пожилого населения в этих странах [2].

Основные иностранные компании, работающие на рынке роботов-гуманоидов:

- SoftBank Robotics (Япония);
- ROBOTIS (Южная Корея);
- KAWADA ROBOTICS CORPORATION (Япония);
- Honda Motor Co., Ltd. (Япония);
- UBTECH. Robotics Corp. Ltd. (Китай);
- HANSON ROBOTICS Ltd. (Гонконг);
- PAL Robotics (Испания);
- TOYOTA MOTOR CORPORATION (Япония)

и другие.

В 2021 году в России насчитывалось более 70 организаций, производящих гуманоидных роботов. В 2019 году РФ заняла второе место (после США) в рейтинге IFR. Наиболее успешные из них:

- Promobot — крупнейший производитель сервисных роботов в Европе;
- Alex Robotics;
- «Нейроботикс» (робот «Пушкин»);
- НПО «Андроидная техника» (FEDOR).

Уже сейчас антропоморфные роботы постепенно внедряются в медицинскую практику, выполняя серьезные и ответственные задачи. Учитывая, что гуманоидная робототехника находится в стадии активного развития, роботы не лишены недостатков, которые могут быть устранены в ходе последующих версий роботов.

Гериатрия

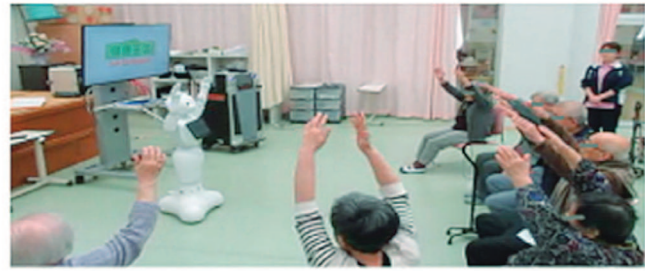
В обзоре Andtfolk M. и соавт. описано применение антропоморфных роботов для медицинского ухода за пожилыми пациентами. Проведенный авторами обзор позволил выделить четыре направления применения человекоподобных роботов в уходе за пожилыми пациентами:

- поддержка в обычной жизни;
- помощь во взаимодействии;
- помощь с проведением когнитивных тренировок;
- помощь с проведением физических тренировок.

Человекоподобные роботы могут выступать компаньонами для пожилых людей, однако существуют такие ограничения, как, например, медленный ответ роботов (ответ с задержкой) и различные ошибки. Кроме того, исследователи отметили снижение удовлетворенности пожилых пациентов работой роботов при их длительном использовании [3].

Во многих странах наблюдается тенденция к старению населения: снижение рождаемости, уменьшение количества детей и увеличение количества продолжительности жизни, а следовательно, рост числа пожилых граждан. Такие демографические изменения ведут к необходимости формирования качественной системы ухода за пожилыми пациентами. Роботические технологии уже сейчас являются одним из оптимальных решений, внедряемых в систему социального и медицинского ухода. Для создания качественного взаимодействия человек-робот необходимо наличие у робота компетенций в области ухода за больными. Исследовательская группа Таниока в настоящее время проводит клиническое исследование применения антропоморфных роботов, оснащенных программой Pepper (SOFTBANK CORPORATION), в реабилитации и уходе за пожилыми. Общие результаты поведенческих изменений, актиграфии, вариабельности сердечного ритма у пациентов с деменцией показали положительную корреляцию между симпатической активностью и измерением активности с помощью актиграфии в бодрствующем состоянии при выполнении пациентами упражнений, показываемых роботом. Исследователи считают, что программа робота, проводящего упражнения для реабилитации, способна активировать активность автономной нервной системы пожилых пациентов, и, таким образом, улучшить качество их жизни (рис.2) [4].

Еще одно исследование, посвященное применению гуманоидных социальных роботов (social assistive robots – SARs) у пациентов с деменцией, было проведено J. Zuschnegg с целью изучения положительных и негативных ожиданий медицинского персонала, тренеров и сиделок в отношении качества и спектра работы, выполняемой роботом. Всего было изучено мнение 11 фокусных групп перечисленных выше социальных работников, которые работали в домах престарелых, центрах ухода или



(а) Трансактивные отношения между пожилыми людьми, эрготерапевтом в качестве посредника и роботом Пеппер.

- Вербальное и невербальное общение
- Выражение лица
- Зрительный контакт
- Прикосновение к человеку
- Знакомство с человеком и обмен жизненным опытом



HNR должны уметь соответствовать настроению, чувствам и эмоциям, включая выражение страдания.

Медсестры и поставщики медицинских услуг должны эффективно использовать роботов, чтобы лучше понимать пациентов. Пожилые люди могут выздороветь от диалогов и бесед с роботами Pepper.

(b) Технология и забота сосуществуют в сестринском деле и здравоохранении.

Рис. 2. Теория трансактивных отношений в сестринском деле (TRETON) объясняет, что происходит между роботом и человеком
 Fig. 2. The Transactive Relationship Theory of Nursing (TRETON) explains what transpires between the robot and the human being

обеспечивали уход за пациентами с деменцией дома. Всего приняли участие 52 сотрудника. В основном, участники сообщили об ожидании от роботов SARs поддержки в отношении некоторых человеческих потребностей – избежание опасности (распознавание опасности, вызов помощи), общение и контакт с другими людьми (включение телефонных звонков), ежедневные дела (напоминания о медицинских назначениях, выполнении домашних обязанностей), развлечения (включение музыки), помощь в приготовлении еды/питья, влияние на мобильность человека (напоминание о смене положения тела, инструкции к физическим упражнениям). Негативные ожидания, в основном, были связаны с потерей межличностного взаимодействия и скептицизм в отношении чрезвычайных ситуаций. Вероятно, признание роботов SARs полезными в отдельных компонентах ухода, делают их в будущем довольно привлекательными для оказания социальной и медицинской помощи пациентам с деменцией [5].

Педиатрия

Обзор применения антропоморфных роботов для ухода за детьми с расстройством аути-

стического спектра (РАС). В статье Puglisi A. приводится термин робот-ассистированная терапия – терапия с помощью робота, которая видится перспективной областью нейробиологии для пациентов с РАС. Робот в данном случае выступает посредником между медицинским/социальным работником и ребенком-пациентом обеспечивая так называемое **триадное взаимодействие**. На данный момент есть несколько типов таких роботов, но нет никаких исследований, сравнивающих их между собой [6].

В приведенных выше поведенческих исследованиях было обнаружено, что дети с РАС проявляют больше интереса к человекоподобным роботам, чем к людям. Однако нейронный механизм, лежащий в основе данного феномена, не до конца изучен.

В исследовании Hou S. ученые сравнили активность головного мозга и паттерны его активации у детей с РАС и нейротипичных (здоровых) детей во время просмотра видео, показывающих роботов и людей. В работе приняли участие 45 детей с РАС и 53 здоровых ребенка в возрасте 4–6 лет. Оценка нейронной активности дорсолатеральной префронтальной коры (ДСПФК) проводилась с помощью спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИК-спектроскопии) ►►

у обеих групп во время просмотра видео роботов и людей. У детей с РАС нейронная активность правой ДСПФК была значительно ниже при просмотре видео с роботами, чем при просмотре видео с людьми. При этом у детей с РАС нейронная активность правой ДСПФК также была значительно ниже, чем у здоровых детей. Нейронная активность левой ДСПФК детей с РАС негативно коррелировала между людьми и роботами, в то время как у здоровых детей корреляция была положительной. Таким образом, здоровые дети показали одинаковую нейронную активность при наблюдении за антропоморфными роботами и людьми, в то время как у детей с РАС нейронная активность значительно отличалась. Детям с РАС требуется больший объем селективного внимания для взаимодействия с людьми, чем с роботами. Нейронная активность левой ДСПФК у детей с РАС коррелировала с их симптомами, что может стать индикатором для ранней диагностики РАС. Нейронная активность левого ДСПФК была причиной атипичной реакции и взаимодействия с роботами. Ученые сделали вывод об атипичном ответе префронтальной коры детей с расстройством аутистического спектра (РАС) на антропоморфных роботов [7].

Одной из когнитивных функций, нарушающихся у детей с РАС, является совместное внимание (joint attention). Совместное внимание – это феномен направления внимания (в частности взгляда) в ту же сторону и на те же объекты или события, что и человек рядом (собеседник). В статье Chevalier P. и соавт. было рассмотрено применение антропоморфных роботов для изучения данной когнитивной функции. Совместное внимание может быть оценено как с помощью очного взаимодействия робот-человек, так и в ходе наблюдения исследуемым за роботом, записанным на видео. Эта методика формирует новые инструменты, которые могут быть использованы в диагностике и терапии детей с РАС [8].

Некоторые исследования показали, что наличие человекоподобных черт у роботов может привести к тому, что взрослые и дети будут относиться к ним как к людям, то есть антропоморфизировать их.

В исследовании Manzi F. авторы сравнили психологическое отношение детей к двум видам

роботов – NAO и Robovie, имеющим разные степени схожести с человеком. В исследовании детям в возрасте 5, 7 и 9 лет было необходимо выразить свое отношение к роботам, при этом Robovie имел больше механических черт, а NAO был более человекоподобным. Результаты показали, что дети в возрасте 5 лет имели более выраженную тенденцию к антропоморфизации роботов вне зависимости от их внешнего вида. Дети 7 и 9 лет также приписывают обоим видам роботов человеческие черты, однако более развитым психическим состоянием наделяют NAO, а не Robovie. Данное исследование показало, что дети имеют тенденцию к «очеловечиванию» антропоморфных роботов, во внешнем виде которых преобладают механические черты. Тем не менее, более близкий к человеческому вид робота повышает восприятие его детьми как человекоподобного. Авторы считают, что на основании данного исследования и аналогичных по дизайну возможно правильное сопоставление роботов и целевой аудитории для их применения (рис. 3) [9].

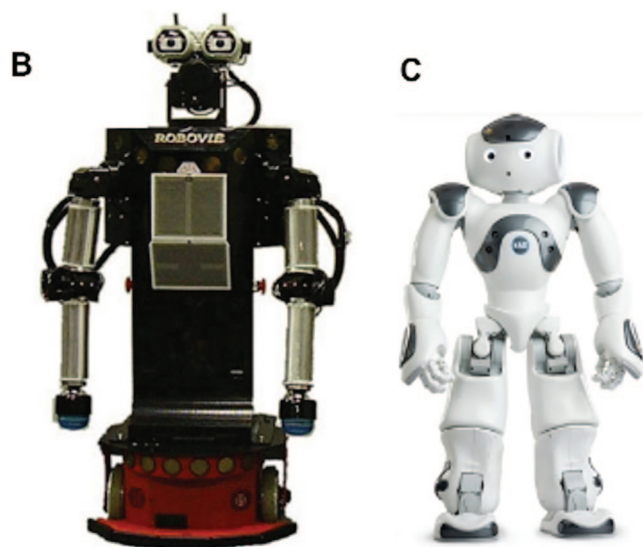


Рис. 3. (B) – Robovie; (C) – NAO
Fig. 3. (B) – Robovie; (C) – NAO

Социальные аспекты антропоморфных роботов

Взаимодействие людей и роботов, влияние последних на активность человеческого мозга и выявление закономерностей или параметров коллаборации стало предметом изучения нейробиологов. Способы выражения эмоций людьми в отношении роботов изучаются через сопоставление вербальных и невербальных коммуникативных проявлений.

Во время межличностных взаимодействий многие жесты могут быть использованы с разными эмоциями, выражая таким образом положительное или отрицательное отношение к собеседнику. Например, пожатие руки может быть мягким или энергичным. Ключевой областью, отвечающей за формирование реакций на подобные взаимодействия человек-человек, считается дорсо-центральная островковая доля головного мозга. В работе Di Cesare G. ученые провели две функциональных магнитно-резонансных томографии (фМРТ) для исследования реакции людей на взаимодействие с человекоподобным роботом iCub. Робот мог взаимодействовать с высокой и низкой скоростью, копировать вежливое и грубое поведение. Наблюдение участников за медленными и быстрыми действиями робота приводило к активации теменно-лобного контура, который в норме отвечает за распознавание и выполнение действий, однако дорсо-центральная островковая доля задействована не была. Воспроизведение роботом вежливых и грубых действий привело к повышению местного потребления кислорода в дорсо-центральной островковой доле. Таким образом, роль дорсо-центральной островковой доли селективна по отношению к реакции на действия человекоподобных роботов [10].

Не меньший интерес вызывает изучение отношения медицинских работников к применению человекоподобных роботов для ухода за пациентами. Результаты социальной работы Paradopoulos I. показали, что медицинские работники формируют свое отношение к роботу на основании спектра действий и манипуляций, которые они способны выполнять, а также на основании безопасности пациентов и их личных данных, с которыми работают роботы. То есть, отношение медицинского персонала и работников социальных служб к применению роботов формируется на основании влияния роботов на состояние пациентов [11].

В серии экспериментов было изучено влияние трех уровней вежливости неантропоморфных роботов на удовлетворенность человека от взаимодействия с ним. Исследователи поставили задачу сервировки стола роботом-манипулятором и мобильным роботом, условия взаимодействия – видеозапись и «вживую». Участники

исследования делились на 2 группы – молодых и пожилых. Результаты показали, что вежливое поведение робота позитивно влияло на восприятие участниками их взаимодействия, а также участники могли дифференцировать различные уровни вежливости, составленные для каждой ступени исследования. Самый высокий уровень удовольствия у участников встречался при самом высоком уровне вежливости робота. Однако более молодые совершеннолетние участники исследования меньше доверяли вежливости роботов, чем остальные взрослые. Доверие от взаимодействия с роботом были выше, если общение происходило в очных условиях, и больше симпатии выказывалось мобильному роботу, чем роботу-манипулятору [12].

Другие исследователи сделали попытку разработать методологию изучения взаимодействия робота и человека на примере использования робота-преподавателя. Они изучали 3 эффекта: приобретение знаний учащимися (тест после лекции и итоговые оценки за экзамен), уровень удовольствия (опросник по шкале Лайкерта) и уровень удивления (анализ выражений лиц, снятых камерами). Чтобы определить взаимосвязь между приобретением знаний учащимися, удовольствием и уровнем удивления, ученые разработали серию из трех экспериментов, проверяя три переменные: 1. Один урок с человеком-наставником; 2. Один урок с роботом-наставником; 3. Два робота-наставника. Уроки репетитора [13].

Психиатры изучают возможности робототерапии, эффект от которой оценивается на уровне анималотерапии: роботы не только развлекают, но и оказывают помощь, обучают, обеспечивают общение, стимулируют разум. Благодаря этому робототерапия может считаться новым методом психиатрической помощи пожилым людям [14].

Антропоморфные роботы уже продемонстрировали свою эффективность в медицине, однако для дальнейшего внедрения в клиническую практику необходимо более тщательное изучение и понимание факторов, влияющих на ощущение безопасности людей во время взаимодействия с роботами. Обеспечение чувства безопасности пациентов – это ключевой принцип качественного медицинского ухода. ►►

В исследовании Nyholm L. и коллег было проведено 12 полуструктурированных интервью, в которых приняли участие 5 женщин и 7 мужчин в возрасте 24–77 лет. Перед проведением интервью участникам было показано видео с Pepper – роботом, применяемым в ежедневном медицинском уходе за пациентами. Материалы интервью были проанализированы с помощью качественного контекстного анализа. Большая часть участников описали использование человекоподобных роботов в медицине как позитивное и негативное одновременно. Основопологающей темой стала амбивалентность чувства безопасности при взаимодействии с роботами в медицине. Было выделено 4 категории:

- антропоморфные роботы заслуживают и не заслуживают доверия;
- антропоморфные роботы безопасны и небезопасны;
- они одновременно нравятся и пугают;
- человекоподобные роботы могут и не могут заботиться в достаточном объеме.

Данное исследование показало наличие двойственного отношения к роботам у пациентов, и чувство страха и отсутствия безопасности должно быть принято во внимание при разработке и внедрения человекоподобных роботов в клиническую практику [15].

Роботы с открытым программным обеспечением могут использоваться как платформа для исследований в области эмоциональных коммуникаций, в том числе с использованием искусственного интеллекта, что открывает возможности создания антропоморфных роботов с эмоциональным интеллектом. Уже разработан робот с головой, которая может воспроизводить человеческие эмоции, движения головы и речь благодаря наличию 25 мышц, включая 12 лицевых мышц, способных осуществлять максимальное движение кожи до 15 мм [16].

Особенности взаимодействия робота с людьми в ряде случаев формируют потребность в создании роботов, имеющих собственную «личность». Применение искусственного интеллекта позволяет реализовать данную потребность и сформировать «личность» робота, выражающуюся во время невербального общения, например, с помощью изменения выражения «лица» робота. Такая разработка позволяет, например, воспринимать идентичных внешне ро-

ботов как личностей с различными характерами. Результаты исследования показали, что люди способны дифференцировать от четырех до восьми моделей поведения при разговоре с роботом [17].

Sacino A. и соавт. в серии трех экспериментов исследовали особенности восприятия роботов людьми: воспринимают ли люди роботов как человекоподобных или как неживые предметы? Авторы сравнивали реакцию участников исследования на изображения роботов и людей, появляющиеся на экране. Данные фотографии могли быть как в обычном положении, так и перевернутые на 180 градусов, с расчетом индекса инвертированности. Данный индекс позволяет более независимо оценить распознавание каких-либо объектов как человекоподобных. Результаты показали, что изображения роботов в полный рост воспринимались участниками так же, как и изображения людей вне зависимости от степени антропоморфности данных роботов. Однако результат третьего эксперимента показал, что, в отличие от распознавания роботов в полный рост, индекс инвертированности при просмотре лиц роботов отличался в зависимости от степени их антропоморфизации: чем более похож был робот на человека внешне, тем выше был индекс инвертированности. Таким образом, авторы данного исследования выяснили, что более антропоморфные роботы когнитивно распознаются воспринимаются людьми как живые люди, в отличие от роботов с низкой внешней схожестью с человеком [18].

По мере того, как природа отношений человека и робота все больше смещается от супервизора-машины к другу-компаньону, люди проявляют все больший интерес к вынесению социальных суждений о таких антропоморфных объектах, как надежность. Однако черты лица социальных роботов и их потенциальное влияние на антропоморфную достоверность редко анализируются. В этом исследовании изучалось, имеет ли восприятие доверия к социальному роботу сходство с детскими чертами на человеческом лице. Он также исследовал влияние различных комбинаций детских черт лица, особенно положения и размеров глаз и рта, на достоверность антропоморфного лица. Соответственно был проведен 5-сторонний смешанный экспери-

мент с 270 участниками. Результаты показали, что люди будут испытывать высокий уровень антропоморфной достоверности лица по отношению к роботам с чертами детского лица (т. е. большие глаза, со средним вертикальным и горизонтальным положением глаз и рта). Эта статья дополняет литературу по достоверности антропоморфных черт лица при взаимодействии человека и робота и содержит предложения по проектированию социальных роботов [19].

Антропоморфный внешний вид является ключевым фактором, влияющим на отношение и эмоции пользователей. Учеными было проведено исследование на измерение эмоционального опыта, вызванного антропоморфной внешностью роботов, с тремя уровнями – высоким, средним и низким. Физиологические данные и данные айтрекера 50 участников записывались синхронно, пока они наблюдали за изображениями роботов, которые отображались в случайном порядке. После этого участники сообщили о субъективных эмоциональных переживаниях и отношении к этим роботам. Результаты показали, что изображения умеренно антропоморфных роботов вызывали более высокие оценки удовольствия и возбуждения, а также значительно больший диаметр зрачка, чем низкие или высокие роботы. Электромиография лица участ-

ников, проводимость кожи и частота сердечных сокращений были выше при наблюдении за умеренно антропоморфными роботами. Смысл исследования заключается в том, что внешний вид гуманоидных роботов должен быть умеренно антропоморфным; слишком много человекоподобных или машиноподобных функций могут мешать положительным эмоциям и отношениям пользователей. Результаты показали, что среднеантропоморфные роботы вызывают больше положительных эмоций, чем высоко – и низкоантропоморфные роботы. Слишком много или слишком мало человеческих или машинных функций могут испортить положительные эмоции пользователей [20].

■ **ОБСУЖДЕНИЕ**

В настоящее время создание антропоморфных роботов и их внедрение в медицинскую практику идет фактически параллельно. Технические сложности в виде устойчивости шагающих машин, физической силы и безопасности в отношении пациентов роботов, отсутствия единой методологии, математического и программного обеспечения для проектирования AP, запас прочности, – все это решается очень быстрыми темпами. ►



Рис. 4. Классификация антропоморфных медицинских роботов по областям выполняемых функций, предложенная авторами статьи, 2023 год
 Fig. 4. Classification of anthropomorphic medical robots by areas of performed functions, proposed by the authors of the article, 2023

Спектр применения антропоморфных роботов в медицине представлен на рис. 4.

Применение АР в медицине дает новые научные данные, особенно в психиатрии, гериатрии, педиатрии, социологии. Наибольшее внимание привлекают психологические аспекты человеко-машинного взаимодействия – аудиовизуальный интерфейс, сценарии поведения. Несомненно, применение АР в медицине существенно облегчит уход за пациентами, людьми пожилого и старческого возрастов, психиатрическими пациентами.

■ ВЫВОДЫ

1. В последние годы наблюдается взрывной рост развития робототехники. Наряду с промышленными, военными, сервисными роботами, своим путем идет развитие медицинских роботов.

2. Наибольшим спросом антропоморфные (гуманоидные) роботы в медицине будут пользоваться для ухода за пожилыми и за пациентами с ограничением двигательных функций, во время пандемий или других потенциально опасных для жизни человека ситуациях.

3. В будущем на этапе внедрения искусственного интеллекта требуется тщательная проработка законодательства и системы безопасности таких роботов.

4. В настоящее время стоимость АР достаточно высока, однако в перспективе снижение стоимости будет сопряжено с отсутствием затрат на изменение среды использования таких роботов, что, возможно, будет экономически оправданным.

5. Важнейшим аспектом применения АР является эмоциональное взаимодействие с человеком и безопасность последнего. //

ЛИТЕРАТУРА

1. Yates DR, Vaessen C, Roupret M. From Leonardo to da Vinci: the history of robot-assisted surgery in urology. *BJU Int* 2011;108(11):1708–1713.
2. Humanoid Robot Market by Component (Hardware (Sensors, Actuator, Power Source, Control System/Controller), Software), Motion Type (Biped, Wheel Drive), Application and Geography (North America, APAC, Europe, RoW) Global Forecast to 2027. [Electronic resource]. URL: <https://www.reportsnreports.com/reports/1222387-humanoid-robot-market-by-component-motion-type-biped-wheel-drive-application-education-and-entertainment-research-space-exploration-personal-assistance-and-caregiving-search-and-rescue-public-relations-st-to-2023.html>
3. Andtfolk M, et al. Humanoid robots in the care of older persons: A scoping review. *Assistive Technology* 2022;34(5):518–526.
4. Tanioka T. Nursing and Rehabilitative Care of the Elderly Using Humanoid Robots. *J Med Invest* 2019;66(1.2):19–23.
5. Zuschnegg J, et al. Humanoid socially assistive robots in dementia care: a qualitative study about expectations of caregivers and dementia trainers. *Aging & Mental Health* 2022;26(6):1270–1280.
6. Puglisi A, et al. Social Humanoid Robots for Children with Autism Spectrum Disorders: A Review of Modalities, Indications, and Pitfalls. *Children* 2022;9(7):953.
7. Hou S. et al. Young children with autism show atypical prefrontal cortical responses to humanoid robots: An fNIRS study. *International Journal of Psychophysiology* 2022;181:23–32.
8. Chevalier P, et al. Examining joint attention with the use of humanoid robots—A new approach to study fundamental mechanisms of social cognition. *Psychon Bull Rev* 2020;27(2):217–236.
9. Manzi F, et al. A Robot Is Not Worth Another: Exploring Children's Mental State Attribution to Different Humanoid Robots. *Front Psychol* 2020;11:2011.
10. Di Cesare G, et al. How attitudes generated by humanoid robots shape human brain activity. *Sci Rep* 2020;10(1):16928.
11. Papadopoulos I, Koulouglioti C, Ali S. Views of nurses and other health and social care workers on the use of assistive humanoid and animal-like robots in health and social care: a scoping review. *Contemporary Nurse* 2018;54(4–5):425–442.
12. Kumar S, et al. Politeness in Human–Robot Interaction: A Multi–Experiment Study with Non–Humanoid Robots. *Int J of Soc Robotics* 2022;14(8):1805–1820.
13. Velentza AM, Fachantidis N, Lefkos I. Human–robot interaction methodology: Robot teaching activity. *MethodsX* 2022;9:101866. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101866>.
14. Shibata T, Wada K. Robot therapy: a new approach for mental healthcare of the elderly a mini–review. *Gerontology* 2011;57(4):378–86. <https://doi.org/10.1159/000319015>.
15. Nyholm L, Santamäki–Fischer R, Fagerström L. Users' ambivalent sense of security with humanoid robots in healthcare. *Informatics for Health and Social Care* 2021;46(2):218–226.
16. Faraj Z, et al. Facially expressive humanoid robotic face. *HardwareX* 2021;9:e00117.

ЛИТЕРАТУРА

17. Luo L, et al. Towards a Personality AI for Robots: Potential Colony Capacity of a Goal-Shaped Generative Personality Model When Used for Expressing Personalities via Non-Verbal Behaviour of Humanoid Robots. *Front Robot AI* 2022;9:728776.
18. Sacino A, et al. Human or object-like? Cognitive anthropomorphism of humanoid robots. *PLoS ONE / ed Bongard J* 2022;17(7):e0270787.
19. Song Y, Luximon A, Luximon Y. The effect of facial features on facial anthropomorphic trustworthiness in social robots. *Appl Ergon* 2021;94:103420. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103420>.
20. Zhang Y, Cao Y, Proctor RW, Liu Y. Emotional experiences of service robots anthropomorphic appearance: a multimodal measurement method. *Ergonomics* 2023;1–19. <https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2182751>.

Сведения об авторах:

Шадеркина В.А. – научный редактор урологического информационного портала UroWeb.ru; Москва, Россия; viktoriashade@uroweb.ru; РИНЦ Author ID 880571

Шадеркина А.И. – студентка 4-го курса Института клинической медицины Первого Московского Государственного Медицинского Университета им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовского университета); Москва, Россия; nastyashade01@yandex.ru; SPIN-код автора 1046-4039, РИНЦ AuthorID 1064989

Петрушин А.А. – студент 4-го курса Института клинической медицины Первого Московского Государственного Медицинского Университета им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовского университета); Москва, Россия; Temansky2001@gmail.com

Вклад авторов:

Шадеркина В.А. – дизайн обзора, научный интерес, литературный обзор, 50%
Шадеркина А.И. – литературный обзор, написание текста, 25%
Петрушин А.А. – литературный обзор, написание текста, 25%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Статья поступила: 12.01.23

Рецензирование: 27.02.23

Результаты рецензирования: 7.03.23

Принята к публикации: 10.03.23

Information about authors:

Shaderkina V.A. – scientific editor of the urological information portal UroWeb.ru; Moscow, Russia; viktoriashade@uroweb.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8940-4129>

Shaderkina A.I. – 4-year student, Institute of Clinical Medicine of the First Moscow State Medical University n.a. I.M. Sechenov of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University); Moscow, Russia; nastyashade01@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0639-3274>

Petrushin A.A. – 4-year student, Institute of Clinical Medicine of the First Moscow State Medical University n.a. I.M. Sechenov of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University); Moscow, Russia; Temansky2001@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-8388-1849>

Authors contributions:

Shaderkina V.A. – review design, scientific interest, literature review, 50%
Shaderkina A.I. – literature review, text writing, 25%
Petrushin A.A. – literature review, text writing, 25%

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

Financing. The study was performed without external funding.

Received: 12.01.23

Reviewing: 27.02.23

Peer review results: 7.03.23

Accepted for publication: 10.03.23

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-60-71>

Виртуальная реальность (VR) в педиатрии: международный и российский опыт

Аналитический обзор

В.А. Шадеркина¹, А.В. Лелюк², Д.В. Алтунин³

¹ Урологический информационный портал Uroweb.ru; д. 11, ул. Золотая, Москва, 105094, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет; д. 2, Менделеевская линия, Санкт-Петербург, 199034, Россия

³ ООО «Группа компаний СМ-КЛИНИКА»; д. 33, к. 28, ул. Клары Цеткин, Москва, 125130, Россия

Контакт: Шадеркина Виктория Анатольевна, viktoriashade@uroweb.ru

Аннотация:

Введение. Виртуальная реальность (VR) представляет собой интерактивно-иммерсивную, созданную компьютером среду или опыт, которую можно рассматривать как результат эволюции существующих коммуникационных интерфейсов в сторону различных уровней погружения. За последние 15 лет идет активное внедрение технологий VR и AR в клиническую медицину. Дети являются наиболее активными пользователями современных гаджетов, Интернета, поэтому их комплаентность по отношению к новой технологии считается наиболее высокой.

Цель статьи. Продемонстрировать возможности технологий виртуальной реальности (VR) в педиатрической практике. Материалы и методы. Для обзора использованы зарубежные и отечественные публикации с 2016 по 2023 гг. Проведен анализ возможностей применения VR в педиатрии, выявлены ее положительные эффекты, а также нерешенные вопросы как со стороны пациентов, так и со стороны научно-клинического сообщества.

Результаты. Ниши педиатрии, которые в будущем будут заняты VR-интервенциями, находятся в областях реабилитации, абилитации, психиатрии, паллиативной медицины. Возможно применение VR-технологий с целью усиления обезболивания, снижения уровня тревожности, депрессии практически во всех субспециальностях педиатрии. Благодаря своей неинвазивности, возможности сочетания с фармакологическими методами обеспечивается высокая степень эмпатии и комплаентности со стороны педиатрических пациентов. Немаловажным представляется обеспечение эпидемиологической безопасности, что стало очень востребованным во время пандемии.

Выводы. Проведенные исследования и обзор научных публикаций демонстрирует высокий потенциал методов виртуальной реальности VR в педиатрии. Снижение инвестиций в наукоемкие сферы, в том числе применение технологий VR в медицине, могут ограничивать их внедрение в клиническую практику. Необходимо объединение научных профессиональных сообществ для проведения рандомизированных клинических исследований с последующей разработкой протоколов и клинических рекомендаций по VR в педиатрии.

Ключевые слова: виртуальная реальность; VR; дополненная реальность; AR; педиатрия; медицина.

Для цитирования: Шадеркина В.А., Лелюк А.В., Алтунин Д.В. Виртуальная реальность (VR) в педиатрии: международный и российский опыт. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2023;9(1):60-71; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-60-71>

Virtual reality (VR) in pediatrics: international and russian experience

Analytical review

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-60-71>

V.A. Shaderkina¹, A.V. Lelyuk², D.V. Altunin³

¹ Urological information portal Uroweb.ru; 11, Zolotaya st., Moscow, 105094, Russia

² St. Petersburg State University; 2, Mendeleevskaya line, St. Petersburg, 199034, Russia

³ LLC «Group of companies SM-CLINIC»; 33, bld. 28, Clara Zetkin st., Moscow, 125130, Russia

Contact: Victoria A. Shaderkina, viktoriashade@uroweb.ru

Introduction. Virtual Reality (VR) is an interactive-immersive, computer-generated environment or experience that may be estimated as the evolution of existing communication interfaces towards different levels of immersion. Over the past 15 years, VR and AR technologies have been actively introduced into clinical medicine. Children are the most active users of modern gadgets and the Internet, so their compliance with new technology is considered the highest.

The purpose. To demonstrate the virtual reality (VR) technologies potential in pediatric practice.

Materials and methods. For the review, foreign and domestic publications from 2016 to 2023 were used. An analysis of the VR potential in pediatrics was carried out, its positive effects were identified, as well as unresolved issues both on the part of patients and the scientific and clinical community.

Results. The pediatrics niches that are likely to be occupied by VR in the future are in the field of rehabilitation, habilitation, psychiatry, and palliative medicine. It is possible to use VR technologies to enhance pain relief, reduce anxiety, depression in almost all subspecialties of pediatrics. Due to its non-invasiveness, the possibility of combining with pharmacological methods, a high degree of empathy and compliance on the part of pediatric patients is ensured. It is also important to ensure epidemiological safety, which has become very popular during a pandemic.

Conclusions. The conducted studies and review of scientific publications demonstrate the high potential of VR virtual reality methods in pediatrics. Decreased investment in knowledge-intensive areas, including the use of VR technologies in medicine, may limit their implementation in clinical practice. It is necessary to unite scientific professional communities to conduct randomized clinical trials with the subsequent development of protocols and clinical guidelines for VR in pediatrics.

Key words: virtual reality; VR, augmented reality; AR, pediatrics; medicine.

For citation: Shaderkina V.A., Lelyuk A.V., Altunin D.V. Virtual reality (VR) in pediatrics: international and russian experience. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2023;9(1)60-71; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-1-60-71>

■ ВВЕДЕНИЕ

Виртуальная реальность (VR) представляет собой интерактивно-иммерсивную, созданную компьютером среду или опыт. Это новая технология, которую можно рассматривать как результат эволюции существующих коммуникационных интерфейсов в сторону различных уровней погружения. Виртуальную реальность можно реализовать с помощью экранов персональных компьютеров, мобильных устройств в специализированных комнатах VR. Важным отличием VR от других медиа или коммуникационных систем является ощущение присутствия. Благодаря слиянию образовательных и развлекательных сред (например, геймификации, виртуальной реальности и образовательно-развлекательных программ), сочетанию иммерсивных технологий (например, дисплеев на голове [HMD]) с передовыми устройствами ввода (перчатками, трекерами и интерфейсов мозг-компьютер) и компьютерной графики, виртуальная реальность способна погружать пользователей в созданные компьютером среды, отражающие действия в реальном мире.

Благодаря этим особенностям в последние 15 лет идет активное внедрение технологий VR и AR в клиническую медицину. Дети являются наиболее активными пользователями современных

гаджетов, Интернета, поэтому их комплаентность по отношению к новой технологии считается наиболее высокой.

Цель статьи – продемонстрировать возможности технологий виртуальной реальности (VR) в педиатрической практике.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

За последние десять лет научный интерес к теме использования VR в медицине демонстрирует неуклонный рост. В научной библиотеке медицинской и биомедицинской информации PubMed по ключевым словам «VR technology» прослеживается прогрессивная динамика: в 2017 году было 212 публикаций, в 2018 – 271, в 2019 – 413, в 2020 – 584, в 2021 – 763, в 2022– 870, за 5 месяцев 2023 года – уже 362. Увеличение количества публикаций, посвященных различным аспектам применения технологии виртуальной реальности в медицине, наблюдается в российских научных медицинских журналах. В настоящей статье акцент был сделан на применении технологий VR в различных областях медицинской помощи детям. В данной статье не упомянуты аспекты применения VR и AR с обучающей целью для медицинских работников, но будет обобщен опыт применения VR и AR в педиатрии. ►►

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящее время расширяется применение технологий виртуальной реальности (VR) по следующим направлениям:

- неврология и нейрокогнитивная оценка;
- психиатрия и психотерапия, в том числе профилактика и лечение расстройств пищевого поведения;
- управление болью;
- офтальмология;
- комбустиология;
- онкологическая и паллиативная помощь;
- травматология и ортопедия;
- диагностические процедуры;
- длительная госпитализация детей;
- обучение социальным навыкам;
- реабилитация.

Неврология

В 2019 году в Белоруссии совместными усилиями неврологов и представителей компании GKeyLab были проведены испытания виртуальной реальности у пациентов с ДЦП, направленные на увеличение объема движений конечностей. Имитация нормальных VR-движений неосознанно воспринималась пациентами как их собственные движения, что в действительности способствовало улучшению мышечной деятельности на 70%, ежедневной бытовой активности на 53%, что было в 2–3 раза выше, чем в контрольной группе [1].

Российские ученые сообщают о применении технологий виртуальной реальности (VR) в лечении детей с церебральным параличом (ДЦП). Авторы рассмотрели возможности VR в восстановлении двигательных, координаторных функций, а также коррекции других расстройств, сопутствующих двигательным нарушениям у пациентов с ДЦП. Также они отметили малый размер выборки и необходимость дальнейших исследований [2].

Психиатрия

GKeyLab предлагает использовать VR-технологии у психиатрических пациентов, в частности у больных шизофренией, что выражается в

виртуализации и создании аватаров их галлюцинаций. Этот метод был назван экспериментальной аватаротерапией, и он сейчас находится на исследовательском этапе [3].

Борьба с фобиями, страхами и повышенной тревожностью возможна с помощью виртуально-реальной экспозиционной терапии (VRET), которая является измененной формой поведенческой терапии.

VR также используется для лечения детей с расстройствами пищевого поведения. С помощью технологий VR врач может определить, какие именно стимулы, социальные ситуации и контексты являются трудными для управления в реальном мире и приводят к деструктивному пищевому поведению, повышенной тревожности или отрицательным эмоциональным переживаниям [4].

Обезболивание

Виртуальная реальность (VR) используется в качестве отвлекающего средства во время болезненных клинических процедур, связанных с использованием игл. Эти процедуры включают вакцинацию, забор крови или введение лекарств, что может вызвать у детей повышенный уровень боли и страха.

Разработчики систем EaseVRx от AppliedVR предлагают их использование в виде VR-курса у пациентов с *хроническими болями*, что происходит одновременно с применением дыхательных упражнений. Через 2 месяца от начала терапии пациенты заявили об уменьшении выраженности болей. Интенсивную боль разработчики считают возможным корректировать с помощью VRH (virtual reality hypnosis) – «виртуально-реального гипноза» [5].

Фантомные боли также могут быть снижены с помощью технологий дополненной реальности (AR) – считывание датчиками сокращений с культы ампутированной конечности позволяет имитировать движения, которые видит пациент на экране. Смещение внимания пациента с культы и болевого синдрома на виртуальную «нормальную» конечность способствует снижению болевого синдрома. Такая

методика применяется при производстве бионических протезов и реабилитационной методике, предложенной российской компанией «Моторика» [6].

В стоматологии VR-аналгезия достигается за счет демонстрации успокаивающего контента, а специальные датчики отслеживают жизненные показатели для контроля со стороны врача.

Группа ученых под руководством Amal Al-Khotani оценила эффективность просмотра записанных на видео мультфильмов с использованием очковой системы (i-theatre™) в качестве аудиовизуального (AV) метода отвлечения внимания на поведение и тревогу у детей, получающих стоматологическое реставрационное лечение. 56 детей были рандомизированы на 2 группы – контрольная группа без отвлечения (CTR-группа) и группа с отвлечением (AV-группа). Каждому пациенту было предусмотрено три визита к стоматологу. Тревожность и кооперативное поведение оценивали с помощью шкалы изображения лица (FIS) и модифицированной клинической шкалы оценки тревожности и кооперативного поведения Венхэма (MVARs). Также были измерены основные показатели жизнедеятельности, кровяное давление и пульс. В AV-группе показатели MVARs были значительно ниже, чем в группе CTR ($p = 0,029$), а в группе AV показатели значительно снизились во время лечения ($p = 0,04$). Далее частота пульса была достоверно увеличена в CTR-группе при инъекции под местной анестезией ($p = 0,02$), но не в AV-группе. Ученые отметили, что VR-терапия с показом детского контента существенно снижает тревожность и страх у детей во время стоматологических процедур [7].

Венепункция и катетеризация

E. Chan et al. изучали влияние применения технологии VR на восприятие боли во время венепункции и установки внутривенного катетера в отделении неотложной помощи и в отделении патологии. В исследовании приняли участие 252 ребенка в возрасте от 4 до 11 лет, которые отмечали свои болевые ощущения по 10-балльной шкале Faces Pain. В ходе исследования не

были отмечены различия в восприятии боли при венепункции и установке катетера. Дети, получающие лечение в отделении неотложной помощи, отметили снижение восприятия боли на 1,78 балла, тогда как пациенты, находящиеся в отделении патологии, – на 1,39 балла [8].

Другие медицинские процедуры

Ученые из Нидерландов провели первый мета-анализ, в котором собрали данные об эффективности VR **для снижения боли и тревоги у педиатрических пациентов, проходящих медицинские процедуры**. Ученые провели поиск в EMBASE, MEDLINE, CENTRAL, PubMed, Web of Science и PsycINFO по ключевым словам «VR», «дети» и «подростки». Были включены исследования, которые применяли VR в соматической обстановке с участниками в возрасте младше 21 года. VR определялась как полностью иммерсивная трехмерная среда, отображаемая в объемном стереоскопическом видении на дисплее, установленном на голове (HMD). Были проанализированы боль и тревога во время медицинских процедур в условиях VR и стандартного лечения. Из 2889 ссылок только 17 соответствовали условиям включения. VR применялась как отвлекающий фактор ($n = 16$) во время венозного доступа, стоматологической, ожоговой или онкологической помощи или как воздействие ($n = 1$) перед плановой операцией под общей анестезией. Эффект VR в основном изучался у пациентов детского возраста, получающих помощь при ожогах ($n = 6$). Результаты показали, что VR является эффективным отвлекающим методом уменьшения боли и тревоги у педиатрических пациентов, проходящих широкий спектр медицинских процедур. Однако из-за недостатка исследований в этой области необходимы дальнейшие исследования эффекта воздействия VR как инструмента подготовки к медицинским вмешательствам [9].

Педиатры детской больницы Lucile Packard Children's Hospital Stanford внедрили инновационные технологии иммерсивной виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR) для улучшения **ухода за пациентами** и ►

повышения качества их обслуживания. Благодаря программе CHARLOT, детская больница Паккард является одной из единственных в мире больниц, где в каждом отделении есть VR, чтобы помочь вовлечь и отвлечь педиатрических пациентов, проходящих ряд больничных процедур. Для пациентов, желающих узнать больше о некоторых методах лечения, предлагаемых в рамках программы «Здоровье плода и беременных», организована VR-симуляция, которая помогает понять методы лечения на простом уровне [10].

Попытка собрать и проанализировать имеющиеся данные об эффективности VR как средства отвлечения детей от боли и страха во время процедур с использованием игл по сравнению со стандартными методами была проведена испанскими учеными. Они провели систематический обзор и метаанализ и проанализировали 665 уникальных результатов поиска, выбрали 21 исследование и включили в систематический обзор, однако исследователи отметили низкое методологическое качество большинства из них. Когорты выборки исследования варьировались от минимального количества 15 участников до максимального количества 220 участников. Десять исследований были включены в метаанализ. Глобальный эффект от использования VR в качестве отвлекающей меры заключался в значительном снижении боли (обратная дисперсия [IV] -2,37, 95% ДИ -3,20 до -1,54; $Z=5,58$; $P<0,001$) и страха (IV -1,26, 95% ДИ -1,89 до -0,63; $Z=3,92$; $P<0,001$) у детей в экспериментальных группах. Основными ограничениями были невозможность ослепления участников и медицинского персонала в отношении вмешательства VR. Тем не менее, использование VR в качестве отвлекающей меры было эффективным для уменьшения боли и страха у детей во время процедур с использованием игл [11].

Офтальмология

Офтальмология – одна из специальностей, в которой технологии VR и AR наиболее востребованы. Применяются тренировки при косоглазии, амблиопии у детей. В 2018 году компания Microsoft предоставила людям с нарушениями

зрения возможность ориентироваться в виртуальной реальности с помощью тактильной и слуховой симуляции трости – проект называется Canetroller и был разработан под руководством Майка Синклера [12].

Комбустиология

Наиболее сложной среди педиатрических urgentных специальностей является комбустиология – оказание медицинской помощи при ожогах и связанных с ними патологических состояний. Ожоговые больные часто испытывают сильную боль во время таких вмешательств, как смена повязок, даже при обезболивании. Виртуальная реальность (VR) может быть использована для отвлечения пациентов и уменьшения боли. Однако необходимо больше данных от пациентов и персонала, использующих эту технологию, о ее применении в клинической практике и влиянии различных стратегий VR.

Целью ученых из США стала оценка эффективности VR-игры на смартфоне в уменьшении боли во время перевязок среди педиатрических пациентов с ожогами. В данное рандомизированное клиническое исследование были включены дети в возрасте от 6 до 17 лет, наблюдавшиеся в амбулаторной клинике крупного педиатрического ожогового центра и детского травматологического центра I уровня Американской ожоговой ассоциации в период с 30 декабря 2016 года по 23 января 2019 года. Критерием включения было владение английским языком в качестве основного языка. Активные VR-участники играли в VR-игру; пассивные VR-участники были погружены в ту же VR-среду без взаимодействия. Обе группы сравнивались с группой стандартного лечения. Один исследователь применял VR и наблюдал за болью, в то время как другой исследователь проводил пост-испытательный опрос, который измерял воспринимаемую ребенком боль и опыт VR. Медсестер попросили сообщить о клинической пользе. Пациенты самостоятельно сообщали о боли с помощью визуальной аналоговой шкалы (VAS; диапазон, 0–100). Исследователь наблюдал за болью пациентов по шкале Face, Legs, Activity, Cry, and Consolability-Revised (FLACC-R). Медсестер попросили

сообщить о полезности VR (диапазон, 0–100; более высокие баллы указывают на большую полезность) и простоте использования (диапазон, 0–100; более высокие баллы указывают на простоту использования). В исследовании приняли участие 90 детей (45 [50%] девочек, средний возраст 11,3 года [95% ДИ, 10,6–12,0 лет]; 51 [57%] белый ребенок). У большинства детей были ожоги второй степени (81 [90%]). Участники группы активной VR имели значительно меньшую общую боль (оценка по шкале VAS, 24,9) по сравнению с участниками контрольной группы стандартного лечения (оценка по шкале VAS, 47,1; $P = 0,02$). В активной группе VR также наблюдалась более низкая оценка наихудшей боли (оценка VAS, 27,4) по сравнению с пассивной группой VR (оценка VAS, 47,9; $P = 0,04$) и группой стандартного ухода (оценка VAS, 48,8; $P = 0,03$). Показатели укачивания на симуляторе (диапазон, 0–60; более низкие показатели указывают на меньшее укачивание) были одинаковыми в группах активной VR (19,3) и пассивной VR (19,5). Медсестры также сообщили, что игры VR могут быть легко внедрены в клиниках (полезность, активная VR: 84,2; 95% ДИ, 74,5–93,8; пассивная VR: 76,9; 95% ДИ, 65,2–88,7; простота использования, активная VR: 94,8, 95% ДИ, 91,8–97,8; пассивная VR: 96,0, 95% ДИ, 92,9–99,1).

Исследование показало, что игра VR на смартфоне была эффективна в снижении боли, о которой пациент сам сообщал во время смены повязок при ожогах, что позволяет предположить, что VR может быть эффективным методом коррекции боли при ожогах у детей [13].

Еще один пример использования VR в комбустиологии был изучен в качественном исследовании по восприятию пациентами и персоналом воздействия и удобства использования активной и пассивной VR во время болезненной смены повязок. Пять пациентов приняли участие в трех наблюдаемых перевязках – одна с активным VR-сценарием, разработанным для исследования, одна с пассивным VR и одна без VR – после чего они были опрошены о своих впечатлениях. Три медсестры, выполнявшие перевязку, приняли участие в фокус-группе. Тематический анализ полученных данных позволил

выделить четыре темы: «Осторожность сменяется удовлетворением», «Отвлечение и последствия для боли и ухода за раной», «Беспокойство, контроль и удовольствие» и «Подготовка и проблемы коммуникации». Результаты показали, что активная VR, основанная на пользовательской информации, была приемлема для пациентов с ожогами, помогала справиться с ощущаемой болью, а также была удобна и желанна в клинической среде. В настоящее время требуется дальнейшее тестирование на более крупных выборках [14].

Онкологическая и паллиативная помощь

Установка венозного порта является болезненной и мучительной для пациентов детской гематологии и онкологии. Виртуальная реальность (VR) может быть использована во время процедур, связанных с иглой, у этих пациентов. Ученые из Турции изучили эффект отвлечения VR во время доступа к венозному порту с помощью иглы Губера для уменьшения боли, страха и беспокойства, связанных с иглой, у детей и подростков с онкологическими заболеваниями. В данном рандомизированном контролируемом исследовании использовались дети ($n = 42$), которые были распределены на группу VR ($n = 21$) и контрольную группу ($n = 21$). Боль, связанная с введением иглы в порт, оценивалась с помощью шкалы оценки боли Вонг-Бейкера (Wong-Baker Faces Pain Rating Scale) после процедуры. До и после процедуры введения иглы в порт оценивались тревожность и страх с помощью самоотчета детей и отчета родителей с использованием Детского измерителя тревожности и Шкалы детского страха. Самоотчетные оценки боли у пациентов в группе VR и контрольной группе составили $2,4 \pm 1,8$ и $5,3 \pm 1,8$ соответственно. В данном исследовании была обнаружена статистически значимая разница между группами в оценках боли ($p < 0,001$), а также статистически значимая разница между группами по показателям страха и тревоги после процедуры. Самооценка страха в группе VR и контрольной группе составила $0,8 \pm 0,9$, $2,0 \pm 1,0$, самооценка тревоги - $2,9 \pm 2,0$, $5,4 \pm 2,0$, соответственно ($p < 0,001$). Ученые сделали вывод о том, что виртуальная реальность является ►►

эффективным методом отвлечения внимания для уменьшения боли, страха и тревоги, связанных установкой венозного доступа, у гематологических и онкологических пациентов детского возраста [15].

Систематическую оценку влияния виртуальной реальности (VR) на симптомы боли, тревоги и страха у педиатрических пациентов с раком провели ученые Китая. Они осуществили поиск в PubMed, Web of Science, Embase, Cochrane Library, Scopus, CINAHL и четырех китайских медицинских базах данных за период с 1 января 1975 года по 22 февраля 2022 года. Искали рандомизированные контролируемые исследования, посвященные влиянию VR-технологий на педиатрических онкологических пациентов. Два исследователя независимо друг от друга проверили литературу, извлекли данные и оценили качество литературы в соответствии с критериями включения и исключения, а метаанализ был проведен с помощью RevMan 5.3. В шесть рандомизированных контролируемых исследований было включено 379 детей с онкологическими заболеваниями. В целом, наблюдались значительные различия в пользу VR в отношении боли (MD = -4,82, 95% CI [-7,74, -1,89], $P < 0,01$; $I^2 = 95\%$, $P < 0,01$), тревоги (SMD = -1.47, 95% ДИ [-2.46, -0.48], $P < 0,01$; $I^2 = 92\%$, $P < 0,01$), и страха (MD = -1.25, 95% ДИ [-1.78, 0.72], $P < 0,01$; $I^2 = 0\%$, $P = 0.69$). Ученые сделали вывод о том, что VR полезна для улучшения настроения боли, тревоги и страха у педиатрических онкологических пациентов. Необходимы более крупные выборки и более тщательные исследования [16].

Влияние психологического фактора VR на восприятие чувства боли обеспечивает обезболивающий эффект. Информационные стимулы – болевой стимул и информация от VR – поступают в головной мозг, где происходит их восприятие и выработка ответа. Но количество стимулов, анализируемых мозгом одновременно, ограничено. Когда пациент находится в виртуальной реальности, он не фокусирует свое внимание на чувстве боли, при этом субъективные болевые ощущения при проведении болезненных медицинских процедур снижа-

ются. В отличие от лекарственных обезболивающих препаратов, которые обладают выраженными неблагоприятными побочными эффектами, использование технологии VR практически не сопровождается нежелательными воздействиями [17].

Травматология и ортопедия

Еще пример применения виртуальной реальности (VR) в качестве отвлекающего средства в различных медицинских учреждениях для уменьшения боли и тревоги, связанных с процедурами, было изучено в детской ортопедической клинике с участием 210 пациентов. Пациенты были рандомизированы в группу VR и в контрольную группу (стандарт лечения). Амбулаторные процедуры включали снятие гипса и/или штифтов. Первичные показатели были собраны до и после процедуры с помощью валидированных опросников и включали: страх (Детская шкала страха), тревогу (Детский измеритель тревожности) и боль (Числовая шкала оценки). Пациенты и опекуны в группе VR заполнили опросник удовлетворенности в конце приема. Показатели страха, тревоги и боли между двумя группами анализировались с помощью многомерных линейных регрессионных моделей, а опрос об удовлетворенности анализировался с помощью описательной статистики. 129 пациентов были включены в окончательный анализ, из них 85 пациентов в группе VR и 44 пациента в контрольной группе. Во время процедуры пациенты в группе VR показали значительно более низкий средний балл страха ($P < 0,001$) и тревоги ($P = 0,003$) по сравнению с контрольной группой. Между группами не было различий в оценках страха и тревоги до и после процедуры, а также в оценках боли до, во время и после процедуры. В целом, пациенты и лица, осуществляющие уход, в группе VR отметили высокую степень удовлетворенности, при этом 97% пациентов и 95% лиц, осуществляющих уход, рекомендовали это вмешательство другим. Технология VR оказалась эффективным средством отвлечения внимания для снятия страха и тревоги во время процедуры снятия гипса. Полученные результаты основываются на совокупности доказательств,

которые поддерживают использование инструментов отвлечения в клиниках, в частности в детской ортопедии, для снятия страха и тревоги. Исследователи считают, что инструменты отвлечения внимания могут быть легко внедрены в текущую практику [18].

Диагностические процедуры

Учеными из Турции было проведено рандомизированное контролируемое исследование по изучению влияния методов виртуальной реальности (VR), внешнего холода и вибрации на показатели боли у детей в возрасте от 7 до 12 лет во время флеботомии. Дети ($n = 121$) были распределены на группы (1-я группа – ВР, 2-я группа – внешний холод и вибрация, 3-я группа – контроль) методом блочной рандомизации. Баллы боли оценивались после флеботомии с использованием самоотчета, отчетов родителей, отчета медсестры, предпринявшей попытку флеботомии, и отчета исследователей по шкале Wong-Baker FACES. Было установлено, что показатели боли были ниже в группах 1 и 2. Хотя между группами 1 и 2 не было различий, между группами 1 или 2 и группой 3 была обнаружена статистически значимая разница по всем показателям боли. Ученые сделали вывод о том, что ВР, внешний холод и вибрация эффективны для уменьшения боли во время флеботомии у детей в возрасте от 7 до 12 лет. Виртуальную реальность можно безопасно использовать для обезболивания детей, которые растут в эпоху технологий [19].

В России опыт применения VR в педиатрии на рутинной основе внедрен в многопрофильном медицинском холдинге «СМ-Клиника». Детям старше 5 лет и подросткам, испытывающим страх или тревогу при диагностических процедурах, предлагается использование очков виртуальной реальности HTC Vive Pro Eye [20].

Длительная госпитализация и общий комфорт в ЛПУ

Длительная госпитализация, особенно при минимальном межличностном взаимодействии,

связана с риском развития тревожности, депрессии и задержкой выздоровления. Виртуальная реальность (VR) получает все больше доказательств в качестве безопасного, эффективного и приемлемого вмешательства для снятия боли и дистресса в контексте дискомфортных медицинских процедур, а также для повышения вовлеченности в реабилитационную терапию и улучшения ее результатов. Пациенты педиатрического отделения интенсивной терапии (PICU) в возрасте 3–17 лет, поступившие в отделение интенсивной терапии, использовали гарнитуру VR для обеспечения 360-градусного погружения. В исследовании использовался смешанный метод, включая стандартизированное кодирование поведения, опросы участников и родителей, а также физиологические реакции участников. Исследователи фиксировали комментарии ребенка о VR, наблюдали за эмоциональными реакциями и фиксировали оценку вовлеченности. Для определения физиологической реакции на VR была собрана целочисленная вариабельность сердечного ритма (HRVi) за 30 минут до, во время и через 30 минут после VR. Всего 115 участников были зарегистрированы с июня 2018 по октябрь 2019 гг., они взаимодействовали с VR в течение 10 минут (интерквартильный размах 7–17). Большинству детей понравился опыт; 83% участников улыбались и 36% смеялись во время использования VR. 72% участников сделали положительные комментарии во время использования VR. Самой сильной возрастной закономерностью в отношении комментариев было то, что самые маленькие дети чаще делились впечатлениями с другими. 79% участников были очень увлечены VR. 92% родителей сообщили, что VR успокоил их ребенка, что подтвердили 78% самих участников. Минимальные показатели HRVi были значительно выше во время VR, чем до ($p < 0,001$) или после VR ($p < 0,001$). Значительной разницы между показателями до и после ВР не было ($p = 0,387$); следовательно, после VR дети вернулись к состоянию до вмешательства. Ученые отметили, что дети, поступившие в отделение интенсивной терапии, с большим интересом и постоянным удовольствием используют VR. Как участники, так и их родители считают, что VR успокаивает, что ►►

соответствует физиологическим улучшениям в HRVi во время вмешательства [21].

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Технологии виртуальной реальности (VR) позволяют создавать контролируемые симуляции эмоционально увлекательных фоновых повествований, которые могут улучшить эмоциональный опыт и социальные взаимодействия ребенка, находящегося в лечебном учреждении. Виртуальная реальность может позволить врачам, инструкторам, психологам предлагать безопасные, воспроизводимые и диверсифицируемые вмешательства, которые могут помочь в лечении как типично развивающихся детей, так и детей с ограниченными возможностями. Исследования также указывают на способность виртуальной реальности снижать у детей авersive стимулы и снижать уровень тревожности.

Лечение боли и тревоги у детей, проходящих медицинские процедуры, до сих пор остается неоптимальным. Неустраненный процедурный дистресс не только причиняет чрезмерные и ненужные страдания ребенку, но и может иметь долгосрочные негативные последствия для его здоровья и развития, а также негативно влиять на результаты лечения. Современные руководства по передовой практике приветствуют регулярное включение в планы лечения нефармакологические вмешательства. Двумя распространенными нефармакологическими подходами являются отвлечение внимания и подготовка к процедуре.

Отвлечение включает использование отвлекающих факторов, таких как музыка и телевизор, чтобы отвлечь внимание от неприятных стимулов, в то время как методы подготовки обычно включают в себя информацию о процедуре или знакомство с процедурной обстановкой (например, экскурсия по клинике, знакомство с врачом и т.д.). За последние несколько десятилетий исследователи изучали возможность использования виртуальной реальности (VR) для проведения и возможного усиления отвлекающих и подготовительных мероприятий в педиатрии.

Проведенные исследования и обзор научных публикаций демонстрируют высокий потенциал методов виртуальной реальности VR в педиатрии. Считается, что иммерсивная, интерактивная природа этого метода обеспечивает особенно увлекательное отвлечение внимания, а также является экономически эффективной и увлекательной средой для подготовки к процедурам.

Ниши педиатрии, которые в будущем будут заняты VR-интервенциями, находятся в области реабилитации, абилитации, психиатрии, паллиативной медицины [22–24].

Все большее число исследований демонстрирует эффективность VR в лечении боли и тревоги, вызванных медицинскими процедурами, в педиатрической когорте пациентов [9, 25].

Технологии виртуальной реальности только начинают свой путь интеграции в комплекс реабилитационных мероприятий у пациентов с ДЦП. Технологии VR создают трехмерную виртуальную среду и способны обеспечить визуальную, аудио- и тактильную обратную связь для полного погружения пациента. Таким образом, они открывают новые возможности в медицинской реабилитации пациентов с ДЦП, так как виртуальная среда предоставляет оптимальные условия для улучшения двигательных функций, постурального контроля, равновесия, общей двигательной активности и сопутствующих синдромов, а интерактивные игры повышают мотивацию к терапии.

Потенциальная роль виртуальной моторной реабилитации многообещающая, но ранние свидетельства недостаточны. На данный момент имеются противоречивые данные касательно применения VR-технологий в реабилитации пациентов с ДЦП, что, вероятно, связано с размером изучаемой выборки, сроками наблюдения, а также оцениваемыми показателями исхода. Необходима дальнейшая разработка подходов VR, подробное исследование эффективности и безопасности данного метода реабилитации, в особенности влияния на повседневную функциональную активность пациентов с ДЦП [26, 27].

Проанализировав области применения VR-технологий в педиатрической практике, мы составили их положительные эффекты, а также объединили некоторые нерешенные вопросы и трудности как со стороны пациентов (табл. 1), так и со стороны научно-клинического сообщества (табл. 2).

Положительные эффекты в клинической медицине

- Обеспечение взаимодействия, адаптации, реабилитации и обучения педиатрических пациентов. ►►

Таблица 1. Нерешенные вопросы и трудности со стороны пациентов
Table 1. Unresolved issues and difficulties on the part of patients

Нерешенные вопросы	Пути преодоления
Неправильность выполнения упражнений во время реабилитации	Необходимо тщательное обучение медицинского персонала и родственников
Высокая стоимость устройств	Постепенное удешевление по мере роста запросов со стороны потребителей
Ограниченное и недостаточное количество оборудования для реабилитации	Приобретение в личное пользование или обеспечение реабилитационных центров
Депрессивные состояния, страхи, переживания и эмоциональные всплески на фоне лечения	Сопровождение медицинским работником, родителями
Другие психоэмоциональные состояния, которые могут быть преодолены с помощью визуальных образов	Сопровождение медицинским работником, родителями
Проблемы со стороны зрения	Тщательный подбор пациентов Возможность технического обеспечения просмотра
Укачивание, головокружение	Решения на этапе разработки приложений для предотвращения укачивания
Малоподвижный образ жизни, киберзависимость, насилие, социальная изоляция, десенсибилизация и безопасность	Необходимы дополнительные исследования

Таблица 2. Нерешенные научно-клинические и технические вопросы
Table 2. Unresolved scientific, clinical and technical issues

Нерешенные вопросы	Пути преодоления
Снижение инвестиций в наукоемкие сферы, включая применение технологий VR в медицине	Решение на уровне государственной власти
Ограниченное и недостаточное количество оборудования для реабилитации	Приобретение в личное пользование или обеспечение реабилитационных центров
Отсутствие разработанных этических принципов применения VR	Разработка и внесение их в клинические рекомендации
Отсутствие систематизации опыта применения технологий VR в медицине	Решение на уровне научных профессиональных сообществ
Отсутствие крупномасштабных рандомизированных контролируемых клинических исследований (РККИ) с достаточным дизайном	Разработка и проведение РККИ научным сообществом
Отсутствие клинических рекомендаций (КР) и протоколов по применению VR	Разработка КР научным сообществом
Сложность объединения междисциплинарных исследовательских групп	Объединение на уровне научных профессиональных сообществ
Возможность использования только готовых презентаций	Разработка «гибких» презентаций, которые можно изменять для персонифицированного применения – возможность настраивания графиков, образов самим врачом
Отсутствие возможности регулировать силу зрительных стимулов для предотвращения негативных побочных явлений	Решения на этапе разработки приложений

- Обеспечение анальгезирующего эффекта.
- Высокая степень эмпатии и комплаентности со стороны педиатрических пациентов.
- Обеспечивают эпидемиологическую безопасность, что стало очень востребованным во время пандемии.
- Неинвазивность технологий обеспечивает более высокую комплаентность по внедрению технологий со стороны врачебного сообщества.
- Возможность сочетания нефармакологических (VR) и фармакологических методов.

■ ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования и обзор научных публикаций демонстрируют высокий потенциал методов виртуальной реальности VR в педиатрии.
2. Снижение инвестиций в наукоемкие сферы, в том числе применение технологий VR в медицине, могут ограничивать их внедрение в клиническую практику.
3. Необходимо объединение научных профессиональных сообществ для проведения рандомизированных клинических исследований с последующей разработкой протоколов и клинических рекомендаций по VR в педиатрии. /

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://devby.io/news/gkeylab-VR?ysclid=lianl75inx537061672>
2. Карякин Н.Н., Шейко Г.Е., Воловик М.Г., Белова А.Н. Технологии виртуальной реальности в комплексной медицинской реабилитации пациентов с детским церебральным параличом. *Бюллетень сибирской медицины* 2020;19(2):142–152. [Karyakin N.N., Sheiko G.E., Volovik M.G., Belova A.N. Virtual reality technologies in complex medical rehabilitation of patients with cerebral palsy. *Byulleten' sibirskoj mediciny' = Bulletin of Siberian Medicine* 2020;19(2):142–152. (In Russian)].
3. <https://news.myseldon.com/ru/news/index/214230835>
4. Кузьмина А.С. Виртуальная реальность как средство безопасного контакта с травмирующей реальностью в психотерапии. *Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности* 2014;3:77–82. [Kuzmina A.S. Virtual reality as a means of safe contact with traumatic reality in psychotherapy. *Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti = Bulletin of the RUDN. Series: Ecology and Life Safety* 2014;3:77-82. (In Russian)].
5. Халявин А.А. Технологии, стирающие границы между нашей и виртуальной реальностями. *Актуальные исследования*, 2022, 16(95):26-29
6. <https://skolkovo-resident.ru/motorika-skolkovo/?ysclid=libbl82gxl783189901>
7. Al-Khotani A, Bello LA, Christidis N. Effects of audiovisual distraction on children's behaviour during dental treatment: a randomized controlled clinical trial. *Acta Odontol Scand* 2016;74(6):494–501. <https://doi.org/10.1080/00016357.2016.1206211>.
8. Chan E, Hovenden M, Ramage E, Ling N, Pham JH, Rahim A, Lam C, Liu L, Foster S, Sambell R, Jeyachanthiran K, Crock C, Stock A, Hopper SM, Cohen S, Davidson A, Plummer K, Mills E, Craig SS, Deng G, Leong P. Virtual Reality for Pediatric Needle Procedural Pain: Two Randomized Clinical Trials. *J Pediatr* 2019;209:160–167.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2019.02.034>.
9. Eijlers R, Utens EMWJ, Staals LM, de Nijs PFA, Berghmans JM, Wijnen RMH, Hillegers MHJ, Dierckx B, Legerstee JS. Systematic review and meta-analysis of Virtual Reality in pediatrics: Effects on pain and anxiety. *Anesthesia & Analgesia* 2019;129(5):1344–1353. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004165>.
10. Virtual reality and immersive technologies at Stanford children's health. [Electronic resource]. URL: <https://www.stanfordchildrens.org/en/innovation/virtual-reality>.
11. Lluésma-Vidal M, González RC, Garc'a-Garc'as L, Sánchez-López MI, Peyro L, Ruiz-Zaldibar C. Effect of Virtual Reality on pediatric pain and fear during procedures involving needles: systematic review and meta-analysis. *JMIR Serious Games* 2022;10(3):e35008. <https://doi.org/10.2196/35008>.
12. Zhao Y, Bennett C, Benko H, Cutrell E, Holz C, Ringel Moris M, Sinclair M. Enabling people with visual impairments to navigate Virtual Reality with a haptic and auditory cane simulation. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI) 2018. [Electronic resource]. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/enabling-people-visual-impairments-navigate-virtual-reality-haptic-auditory-cane-simulation-2/>.
13. Xiang H, Shen J, Wheeler KK, Patterson J, Lever K, Armstrong M, et al. Efficacy of smartphone active and passive Virtual Reality distraction vs standard care on burn pain among pediatric patients: a randomized clinical trial. *JAMA Netw Open* 2021;4(6):e2112082. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.12082>.
14. Furness PJ, Phelan I, Babiker NT, Fehily O, Lindley SA, Thompson AR. Reducing pain during wound dressings in burn care using Virtual Reality: a study of perceived impact and usability with patients and nurses. *J Burn Care Res* 2019;40(6):878–885. <https://doi.org/10.1093/jbcr/irz106>.
15. Gerceker GO, Bektaş M, Aydnok Y, Oren H, Ellidokuz H, Olgun N. The effect of virtual reality on pain, fear, and anxiety during access of a port with huber needle in pediatric hematology-oncology patients: randomized controlled trial. *Eur J Oncol Nurs* 2021;50:101886. <https://doi.org/10.1016/j.ejon.2020.101886>.
16. Cheng Z, Yu S, Zhang W, Liu X, Shen Y, Weng H. Virtual reality for pain and anxiety of pediatric oncology patients: a systematic review and meta-analysis. *Asia Pac J Oncol Nurs* 2022;9(12):100152.

ЛИТЕРАТУРА

<https://doi.org/10.1016/j.apjon.2022.100152>.

17. Oing T, Prescott J. Implementations of virtual reality for anxiety-related disorders: systematic review. *MIR Serious Games* 2018;6(4):e10965. <https://doi.org/10.2196/10965>.

18. Richey AE, Hastings KG, Karius A, Segovia NA, Caruso TJ, Frick S, Rodriguez S. Virtual reality reduces fear and anxiety during pediatric orthopaedic cast room procedures: a randomized controlled trial. *J Pediatr Orthop* 2022;42(10):600–607. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000002250>.

19. Gerceker GO, Binay S, Bilsin E, Kahraman A, Yxlmaz HB. Effects of virtual reality and external cold and vibration on pain in 7- to 12-year-old children during phlebotomy: a randomized controlled trial. *J Perianesth Nurs* 2018;33(6):981–989. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2017.12.010>.

20. https://vk.com/wall-64709548_6022?ysclid=libbbl4qnx658636608

21. Badke CM, Krogh-Jespersen S, Flynn RM, Shukla A, Essner BS, Malakooti MR. Virtual reality in the pediatric intensive care unit: patient emotional and physiologic responses. *Front Digit Health* 2022;4:867961. <https://doi.org/10.3389/fdgh.2022.867961>.

22. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev* 2017;11(11):CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349>.

23. Snider L, Majnemer A, Darsaklis V. Virtual reality as a therapeutic modality for children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil* 2010;13(2):120–8. <https://doi.org/10.3109/17518420903357753>.

24. Freeman D, Reeve S, Robinson A, Ehlers A, Clark D, Spanlang B, Slater M. Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychol Med* 2017;47(14):2393–2400. <https://doi.org/10.1017/S003329171700040X>.

25. Eijlers R, Dierckx B, Staals LM, Berghmans JM, van der Schroeff MP, Strabbing EM, Wijnen RMH, Hillegers MHJ, Legerstee JS, Utens EMWJ. Virtual reality exposure before elective day care surgery to reduce anxiety and pain in children: a randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol* 2019;36(10):728–737. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001059>.

26. Fandim JV, Saragiotto BT, Porf'rio GJM, Santana RF. Effectiveness of virtual reality in children and young adults with cerebral palsy: a systematic review of randomized controlled trial. *Braz J Phys Ther* 2021;25(4):369–386. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2020.11.003>.

27. Ren K, Gong XM, Zhang R, Chen XH. Effects of virtual reality training on limb movement in children with spastic diplegia cerebral palsy. *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi* 2016;18(10):975–979. <https://doi.org/10.7499/j.issn.1008-8830.2016.10.011>.

Сведения об авторах:

Шадеркина В.А. – научный редактор урологического информационного портала UroWeb.ru; Москва, Россия; viktoriashade@uroweb.ru; РИНЦ Author ID 880571

Лелюк А.В. – студентка 2-го курса, медицинский факультет, специальность «Лечебное дело», Санкт-Петербургский государственный университет; Санкт-Петербург, Россия

Алтунин Д.В. – уролог, директор медицинского департамента ООО «Группа компаний СМ-КЛИНИКА»; Москва, Россия; РИНЦ AuthorID 667163

Вклад авторов:

Шадеркина В.А. – дизайн обзора, определение научной новизны, литературный обзор, написание текста, 50%
Лелюк А.В. – литературный обзор, написание текста, 25%
Алтунин Д.В. – дизайн обзора, определение научной новизны, 25%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Публикация обзора без спонсорской поддержки.

Статья поступила: 28.01.23

Рецензирование: 01.03.23

Правки приняты: 03.03.23

Принята к публикации: 07.03.23

Information about authors:

Shaderkina V.A. – scientific editor of the urological information portal UroWeb.ru; Moscow, Russia; viktoriashade@uroweb.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8940-4129>

Lelyuk A.V. – 2-year student, Faculty of Medicine, specialty «Medicine», St. Petersburg State University; Saint-Petersburg, Russia

Altunin D.V. – urologist, Head of the Medical Department of LLC «Group of companies SM-CLINIC»; Moscow, Russia

Authors Contribution:

Shaderkina V.A. – review design, scientific novelty determination, literature review, writing of the text, 50%
Lelyuk A.V. – literature review, writing of the text, 25%
Altunin D.V. – review design, scientific novelty determination, 25%

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

Financing. Review is published without sponsorship.

Received: 28.01.23

Reviewing: 01.03.23

Peer review results: 03.03.23

Accepted for publication: 07.03.23

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

ПАКЕТ МАТЕРИАЛОВ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ

Пакет материалов, направляемых в редакцию, должен содержать

- Официальное направление учреждения, в котором проведена работа.
- Текст статьи

НАПРАВЛЕНИЕ УЧРЕЖДЕНИЯ

1. Документ составляется по утвержденной форме учреждения, направляющего статью.
2. Направление должно подтверждать факт того, что:
 - статья ранее не была нигде опубликована, а также не подавалась на рассмотрение в другие издания,
 - статья не содержит сведения, попадающие под действие Перечня сведений, составляющих государственную тайну,
 - статья может быть опубликована по решению Экспертного Совета учреждения, направляющего статью
3. Направление должно быть заверено визой и подписью руководителя учреждения, печатью учреждения.
4. На последней странице направления должны стоять подписи всех авторов.

ТЕКСТ СТАТЬИ

Текст статьи должен быть напечатан стандартным шрифтом Times Roman 12 через 1,5 интервала на одной стороне бумаги А4 с полями в 2,5 см по обе стороны текста.

Рукопись статьи должна иметь:

1. Титульный лист

2. Резюме

- на русском языке (объемом 1800 знаков, включая пробелы)
- на английском языке (профессиональный перевод)

3. Ключевые слова

- на русском языке
- на английском языке

4. Текст статьи

Объем оригинальной статьи не должен превышать 8-10 машинописных страниц, объем клинических наблюдений – 3-4-х страниц. Объем лекций и обзоров не должен превышать 15-20 страниц.

Текст должен быть разделен на блоки:

- Введение
- Материал и методы
- Результаты
- Обсуждение
- Заключение/Выводы

5. Таблицы

Название таблицы на русском и английском языках. Дублирование содержания таблиц на английский язык.

6. Рисунки

Название на русском и английском языках.

7. Библиография

- не менее 10 источников для клинических случаев
- не менее 20 наименований для оригинальной статьи
- не более 70 – для литобзора.

8. Страницы статьи должны быть пронумерованы.

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ СТАТЬИ

Титульный лист должен содержать:

1. Название статьи

- на русском языке
- на английском языке

2. Фамилии, инициалы, место работы всех авторов

- на русском языке
- на английском языке

3. Полное (без сокращений) наименование учреждения, в котором выполнялась работа с почтовым адресом и индексом

- на русском языке
- на английском языке

4. Ответственный за контакты с редакцией – фамилия, имя, отчество, номер телефона и e-mail.

- на русском языке
- на английском языке

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ

Сведения об авторах должны быть оформлены на русском и английском языках в следующем формате:

1. Фамилия, имя, отчество – должность, место работы, электронная почта, ID ПИНЦ (в русском варианте) и ID ORCID (в английском варианте).

2. Должен быть указан вклад каждого автора в написание статьи с указанием в текстовом варианте и процентном соотношении на русском и английском языках в следующем формате:

3. Конфликт интересов. В статье должна содержаться полная информация о конфликте интересов для тех авторов, у которых подобный конфликт имеется.

4. Финансирование.

СТРУКТУРА ОРИГИНАЛЬНЫХ СТАТЕЙ

Введение. В нем формулируется цель и задачи исследования, кратко сообщается о состоянии вопроса со ссылками на наиболее значимые публикации.

Материалы и методы. Приводятся характеристики материалов и методов исследования.

Результаты. Результаты следует представлять в логической последовательности в тексте, таблицах и рисунках. В рисунках не следует дублировать данные, приведенные в таблицах. Рисунки и фотографии рекомендуется представлять в цветном изображении. Фотографии представлять в формате .jpg с разрешением 600 dpi. Материал должен быть подвергнут статистической обработке. Подписи к иллюстрациям печатаются на той же странице через 1,5 интервала с нумерацией арабскими цифрами соответственно номерам рисунков. Подпись к каждому рисунку состоит из названия и объяснений. В подписях к микрофотографиям необходимо указать степень увеличения. Величины измерений должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

Таблицы. Каждая таблица печатается на отдельной странице через 1,5 интервала и должна иметь название и порядковый номер, соответствующий упоминанию в

тексте. Каждый столбец в таблице должен иметь краткий заголовок.

Обсуждение. Надо выделять новые и важные аспекты исследования и по возможности сопоставлять их с данными других авторов.

Заключение. Должно отражать основное содержание и выводы работы.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК (ВАНКУВЕРСКИЙ СТИЛЬ)

Основные требования к оформлению списка литературы:

1. Литература приводится в порядке цитирования.

2. Все источники должны быть пронумерованы, нумерация осуществляется строго по мере цитирования в тексте статьи, но не в алфавитном порядке. Все ссылки на литературные источники в тексте статьи печатаются арабскими цифрами в квадратных скобках. Если источников несколько, то они перечисляются в порядке возрастания через запятую без пробелов.

3. Текст статьи не должен содержать ссылок на источники, не включенные в пристатейный список.

4. Количество цитируемых работ: в оригинальных статьях желательнее не более 25-30 источников, в обзорах литературы – не более 70.

5. В ссылки на Интернет необходимо включать всю информацию, как и в печатные ссылки, т.е. фамилии авторов, название адрес ссылки и т.д..

Примеры оформления:

Ссылки на журнальную статью

- Название русскоязычных журналов следует давать полностью. Сокращать название журналов можно только в том случае, если их краткая форма представлена в PubMed или Index Medicus.

- Названия журналов в Списке литературы следует выделять курсивом.

- Название журнала год;том(номер):страницы

- Если статья содержит 6 или менее авторов, то в ссылке они должны быть перечислены все.

Ссылки авторефераты и диссертации

Внимание! Не принимаются литературные ссылки на авторефераты диссертаций, диссертации, материалы конференций и симпозиумов

References

В References русскоязычные источники оформляются в следующем порядке: фамилии авторов (авторский транслит), название статьи (транслит), название статьи (английский перевод, дается в квадратных скобках), название журнала (транслит), издательство (транслит). После выходных данных, которые даются в цифровом формате, обязательно указывается язык источника (in Russian). Название журнала выделяется курсивом.

Для удобства транслитерации возможно использование онлайн-сервисов. Например <http://translate.meta.ua/translit/>

ИНДЕКС DOI

По требованию международных баз данных в конце литературной ссылки англоязычной и русскоязычной (где имеется) необходимо проставлять цифровой идентификатор объекта – индекс DOI. Поиск публикаций по номеру DOI осуществляется на сайтах International DOI Foundation (IDF) и CrossRef. Там же можно найти индекс DOI для цитируемой статьи.

ОБЩИЕ ПРАВИЛА

1. Авторам необходимо руководствоваться правилами «Единые требования к рукописям, предоставляемым в биомедицинские журналы» (Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals), разработанных Международным комитетом редакторов медицинских журналов (International Committee of Medical Journal Editors).

2. Редколлегия оставляет за собой право редактирования материалов, представлять комментарии к публикуемым материалам, отказывать в публикации.

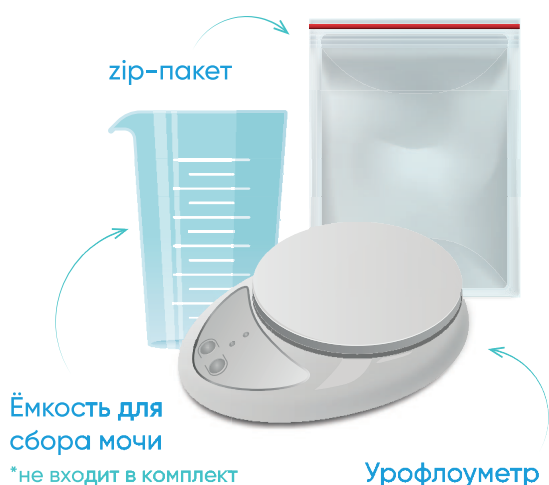
3. Если статья не принимается к печати, то рукопись не возвращается и автору отсылается аргументированный отказ.

4. Информация о соблюдении прав человека (информированное согласие пациентов на участие в исследовании) и лабораторных животных должна содержаться в тексте статьи.

Все материалы представляются на электронном носителе в редакторе Microsoft Word (не ниже 93-97 версии) и направляются на электронный адрес viktoriashade@gmail.com.

ПОРТАТИВНЫЙ УРОФЛОУМЕТР «ФЛОУСЕЛФИ»

- › Портативный урофлоуметр для использования в амбулаторных и домашних условиях
- › Возможность суточного мониторинга нарушений мочеиспускания
- › Автоматическое построение дневника мочеиспускания
- › Возможность использования в режиме взвешивания



Описание

- Соответствует лабораторному оборудованию
- Результат – моментально
- В памяти прибора можно хранить 50 урофлоуграмм – 128 кБ
- Результаты легко отправить врачу через любой мессенджер, электронную почту, сохранить в формате pdf, распечатать
- Компактен, весит 160 г, легко взять в дорогу
- Количество процедур не ограничено
- Можно применять как в лечебном учреждении, так и в домашних условиях

Исследуемые параметры

1. Регистрирует дату и время начала проведения анализа.
2. Вычисляет время от начала обследования до начала мочеиспускания (время отсрочки) (в сек).
3. Вычисляет и отображает среднюю скорость мочеиспускания (в мл/с).
4. Вычисляет максимальную скорость за время мочеиспускания (в мл/с).
5. Вычисляет общий объем мочи (в мл).
6. Вычисляет общую продолжительность мочеиспускания (в сек).
7. Вычисляет общее время от начала старта мочеиспускания до выключения кнопки «СТОП».
8. Вычисляет и выводит данные в виде урофлоуграммы.
9. Сохраняет и хронологически нумерует серию урофлоуграмм в памяти мобильного устройства за период обследования.

Скачайте приложение
для Android или IOS



jtelemed.ru

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «УРОМЕДИА»