

УДК 616-007-053.1:616.073.75

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-4-87-97>

ПОПУЛЯЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСШИРЕНИЯ ЛЕГОЧНОГО СТВОЛА У НАСЕЛЕНИЯ Г. МОСКВЫ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛУЧЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

^{1,2}А. В. Соловьёв[✉], ¹Ю. А. Васильев[✉], ^{1,3}В. Е. Синицын[✉], ¹А. В. Владимирский[✉], ¹Г. В. Иванова[✉]

¹Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

²Морозовская детская городская клиническая больница, Москва, Россия

³Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: В современной клинической практике диагностика и мониторинг состояния легочного ствола являются важными компонентами заботы о пациентах с сердечно-сосудистыми и респираторными заболеваниями. В Российской Федерации пока имеется ограниченное количество эпидемиологических данных, касающихся распространенности дилатации легочного ствола, частоты выявления легочной гипертензии и ее причин.

Настоящее исследование направлено на заполнение этого пробела, предоставляя популяционные данные о распространенности дилатации ствола легочной артерии в городе Москве. Данная работа стремится предложить обоснованную оценку патологии, охватывающую как основные характеристики, так и особенности воздействия различных факторов, таких как возраст и пол, используя передовые технологии искусственного интеллекта.

ЦЕЛЬ: Исследование распространенности расширения легочного ствола в городе Москве по данным компьютерной томографии органов грудной клетки с автоматическим анализом, выполненным с помощью технологии искусственного интеллекта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Исследование включает анализ обширного объема КТ-исследований органов грудной клетки, проведенных в период с октября 2022 г. по февраль 2023 г. Общая выборка исследования составила 125 878 пациентов. Для автоматического выявления признаков дилатации легочного ствола применялись технологии искусственного интеллекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Анализ данных 125 878 КТ-исследований, включая 57 913 мужчин и 67 965 женщин, показал, что 34,4% пациентов (43 242 человека) имели признаки расширения легочного ствола. Среди них доля мужчин с данной патологией составила 35,6% (20 630 человек), а женщин — 33,3% (22 612 человек). Частота выявления патологии увеличивалась с возрастом, начиная с 14,8% среди молодых пациентов и достигая 62,7% среди пожилых. Распространенность расширения легочного ствола среди населения г. Москвы составила 794,7 случая на 100 000 человек.

ОБСУЖДЕНИЕ: На основании проведенного исследования делаются выводы о значимости расширения легочного ствола как предиктора легочной гипертензии. Отмечается важность ранней диагностики для предотвращения тяжелых осложнений, особенно у пациентов с хроническими заболеваниями легких. Была выявлена статистически значимая корреляция между патологией и полом, а также возрастной группой. Детальный анализ также выявил связь с возрастом и полом в контексте диаметра легочного ствола.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Исследование предоставило первые популяционные данные о распространенности дилатации легочного ствола в Москве. Результаты исследования могут служить основой для развития стратегий скрининга и подходов к лечению данной патологии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: компьютерная томография; расширение легочного ствола; искусственный интеллект

* Для корреспонденции: Соловьёв Александр Владимирович, e-mail: atlantis.92@mail.ru

Для цитирования: Соловьёв А.В., Васильев Ю.А., Синицын В.Е., Владимирский А.В., Иванова Г.В. Популяционное исследование расширения легочного ствола у населения г. Москвы на основе автоматизированного анализа результатов лучевых исследований // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 4. С. 87–97, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-4-87-97>.

INVESTIGATION OF PULMONARY ARTERY DILATION IN THE POPULATION OF MOSCOW USING AUTOMATED ANALYSIS OF RADIOLOGICAL EXAMINATION RESULTS

^{1,2}Alexander V. Solovev[✉], ¹Yuriy A. Vasilev[✉], ^{1,3}Valentin E. Sinitsyn[✉], ¹Anton V. Vladzimirskyy[✉],
¹Galina V. Ivanova[✉]

¹Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Moscow, Russia

²Morozov Children's Municipal Clinical Hospital, Moscow, Russia

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

INTRODUCTION: In modern clinical practice, the diagnosis establishment and monitoring of pulmonary arteries are important components of care for patients with cardiovascular and respiratory diseases. However, in Russia, there remains a limited amount of epidemiological data on the prevalence of pulmonary artery dilation, especially at the population level.

This study aims to fill this gap by providing population-based data on the prevalence of pulmonary artery dilation in the city of Moscow. With the help of advanced artificial intelligence technologies, this work seeks to offer a comprehensive assessment of the pathology, covering both its main characteristics and the effects of various factors such as age and gender.

OBJECTIVE: To investigate the prevalence of pulmonary artery dilation in Moscow using the data from computed tomography (CT) scans of the chest analysed by means of an automatic artificial intelligence technology.

MATERIALS AND METHODS: The study involved the analysis of a large volume of chest CT scans acquired from September 2022 to February 2023. The total study sample comprised 134,218 patients. Artificial intelligence technologies were applied for the automatic detection of signs of pulmonary artery dilation.

RESULTS: An analysis of 125,878 CT scans, including 57,913 men and 67,965 women, revealed that 34.4% of patients (43,242 individuals) showed signs of pulmonary artery dilation. Among them, the proportion of men with this pathology was 35.6% (20,630 individuals), while for women it was 33.3% (22,612 individuals). The prevalence of the pathology increased with age, starting at 14.8% among younger patients and reaching 62.7% among the elderly. The prevalence of pulmonary artery dilation among the population of Moscow was 794.7 cases per 100,000 people.

DISCUSSION: The results of this research allowed us to draw conclusions regarding the meaning of pulmonary artery dilation as a predictor of pulmonary hypertension. The results demonstrated a correlation between the frequency of pathology occurrence and gender and age groups, with a more pronounced association observed in women. Detailed analysis also revealed correlations of pulmonary artery diameter with age and gender.

CONCLUSION: The study provided the first population-based data on the prevalence of pulmonary artery dilation in Moscow. The importance of early diagnosis to prevent severe complications, especially in patients with chronic lung diseases, is emphasized. The study results can provide a basis for screening strategies and treatment approaches for this pathology.

KEYWORDS: computed tomography, pulmonary artery dilation, artificial intelligence

* For correspondence: Alexander V. Solovev, e-mail: atlantis.92@mail.ru

For citation: Solovev A.V., Vasilev Yu.A., Sinitsyn V.E., Vladzimirskyy A.V., Ivanova G.V. Investigation of pulmonary artery dilation in the population of Moscow using automated analysis of radiological examination results // Diagnostic radiology and radiotherapy. 2024. Vol. 15, No. 4. P. 113–123, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-4-113-123>.

Введение. В соответствии с данными Всемирной организации здравоохранения сердечно-сосудистые заболевания занимают ведущее место в структуре смертности населения¹. Среди них важное место занимают болезни, вызывающие легочную гипертензию. Они представляют глобальную проблему для системы здравоохранения. Согласно данным литературы, распространенность легочной гипертензии в мире составляет приблизительно 1% и достигает 10% среди лиц старше 65 лет [1]. Важно отметить, что заболевания сердца и легких стали наиболее частыми причинами легочной гипертензии практически во всех регионах мира. Развивающиеся страны, где проживает около 80% пациентов с этими заболе-

ваниями, являются лидерами по данному показателю [1]. В мировой эпидемиологической карте легочной гипертензии отмечается, например, что распространенность данного состояния в Великобритании составляет 97 случаев на 1 млн населения, при этом у мужчин отмечается более высокая распространенность по сравнению с женщинами в соотношении 8:1. Согласно статистике США, уровень смертности варьирует от 4,5 до 12,3 случая на 100 000 населения. Также известно, что группы 2 (вследствие патологии левых отделов сердца) и 3 (вследствие патологии легких и/или гипоксии) более распространены [2, 3]. По данным эхокардиографии, на территории западной Австралии было выявлено 326 случаев

¹ <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>.

легочной гипертензии на 100 000 населения, из которых 250 случаев было связано с патологией левых отделов сердца и 37 случаев — с респираторными заболеваниями [4].

По статистике в Российской Федерации распространенность легочной артериальной гипертензии (клиническая группа легочной гипертензии) составляет 15–60 случаев на 1 млн населения, а заболеваемость — до 10 случаев на 1 млн населения¹ [5]. При обследовании 511 пациентов с подтвержденным COVID-19 расширение легочного ствола (≥ 29 мм) было выявлено у 189 человек [6]. Распространенность хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) в выборке из 7164 пациентов составляет 21,8% (с респираторными симптомами) и 15,3% (в общей популяции) [7]. Расширение легочного ствола может быть связано с различными патологиями, включая артериальную гипертензию, ХОБЛ, сердечную недостаточность и другие заболевания системы кровообращения [2, 3].

Пороговый показатель диаметра легочной артерии, превышение которого на КТ органов грудной клетки (ОГК) позволяет с уверенностью говорить о формировании легочной гипертензии, составляет 29 мм. Расширение ствола легочной артерии происходит в связи с адаптацией к повышенному давлению в ней и в основном связано с увеличением легочного сосудистого сопротивления [2, 8, 9].

С 2020 г. в Москве активно осуществляется самое масштабное в мире исследование, направленное на оценку эффективности и качества использования технологии искусственного интеллекта (ТИИ) для анализа медицинских изображений — эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы (далее — Московский эксперимент)².

В течение 2022 г. в Москве было выполнено более 584 тысяч КТ-исследований органов грудной клетки без использования контрастного усиления. Этот обширный объем данных предоставляет потенциал для реализации оппортунистического скрининга расширения ствола легочной артерии среди населения города Москвы.

Вопреки достижениям в области медицинских технологий, распространенность данной патологии на территории России остается недостаточно изученной, что обосновывает необходимость проведения настоящего исследования.

Цель. Изучить распространенность расширения легочного ствола среди населения г. Москвы путем

анализа данных КТ-исследований органов грудной клетки с помощью технологий искусственного интеллекта.

Материалы и методы. Одобрения этического комитета не требовалось. Исследование выполнено в рамках Московского эксперимента по направлению «Расширение легочного ствола» (mosmed.ai).

Дизайн: ретроспективное описательное эпидемиологическое исследование.

Анализ выполнен за период с октября 2022 г. по февраль 2023 г. в популяции города Москвы.

В исследование включены данные 125 878 компьютерных томографий органов грудной клетки из Единого радиологического информационного сервиса Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕРИС ЕМИАС). Анализ проводился с учетом разделения на группы по полу и возрасту.

При проведении анализа использовались следующие возрастные категории в соответствии с классификацией Всемирной организации здравоохранения: молодой возраст (18–44 лет), средний возраст (45–59 лет), пожилой возраст (60–74 лет), старческий возраст (75–89 лет) и долгожители (90 лет и старше).

Компьютерная томография органов грудной клетки назначалась медицинскими специалистами, а фактическое проведение исследований выполняли рентгенолаборанты в медицинских учреждениях государственной здравоохранительной системы города Москвы, предоставляющих медицинскую помощь как в амбулаторных условиях, так и в стационаре. КТ-исследования органов грудной клетки проводились без использования контрастного вещества, а толщина срезов составляла не более 3 мм. Результаты КТ ОГК архивировались в ЕРИС ЕМИАС и затем, в соответствии с процедурами Московского эксперимента, обрабатывались ИИ-сервисами². По завершении этого процесса исходные данные и результаты автоматизированного анализа становились доступными для врача-рентгенолога в виде дополнительной серии и сгенерированного текстового заключения.

Для определения патологического расширения ствола легочной артерии с помощью ТИИ на основании рекомендаций Европейского общества кардиологов (ESC) были разработаны базовые диагностические требования (БДТ) по диагностике и лечению легочной гипертензии [2, 3]: расширение ствола легочной артерии ≥ 29 мм³.

Для автоматического определения диаметра ствола легочной артерии были применены отечественные алгоритмы ТИИ, которые перечислены в табл. 1; результат их работы представлен на рис. 1⁴.

¹ Мартынюк Т.В. Легочная гипертензия: диагностика и лечение. М., 2018.

² Владимирский А.В., Васильев Ю.А., Арзамасов К.М. и др. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента. 2-е изд. М., 2023.

³ <https://mosmed.ai/ai/docs>.

⁴ https://mosmed.ai/service_catalog.

Таблица 1

Перечень используемых ИИ-сервисов в выборке на основе технологии искусственного интеллекта с указанием валидации поставщика сервиса

Table 1

List of AI services used in the sample based on artificial intelligence technology with validation details from the service provider

Название ИИ-сервиса	Название компании	Площадь под ROC-кривой (AUC) (валидация поставщика сервиса)	Чувствительность	Специфичность
Chest-IRA	ООО «Интеллидженгт радиологии ассистанс лабораторис (АЙРА Лабс)»	0,96	0,87	0,91
CVL — Chest CT Complex	ООО «СиВижинЛаб»	0,88	0,82	0,81
ТретьеМнение_КТ-Легочный ствол	ТретьеМнение_КТ-Легочный ствол	0,89	0,84	0,82

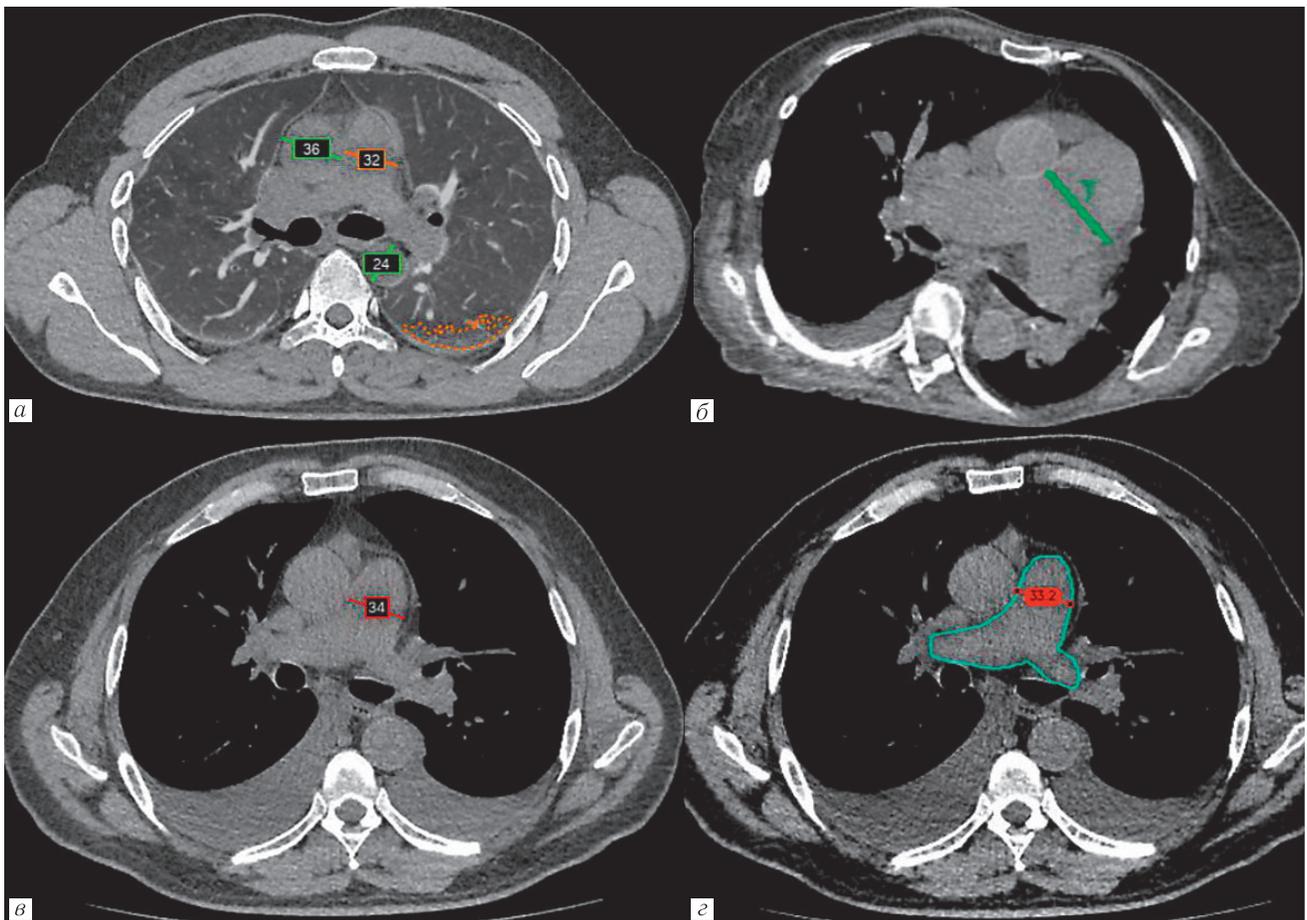


Рис. 1. Пример работы отечественных ИИ-сервисов, перечисленных в табл. 1, на КТ ОГК: технология искусственного интеллекта корректно выделила и маркировала расширение легочного ствола: *a* — линия оранжевого цвета; *б* — линия зеленого цвета; *в* — линия красного цвета; *г* — линия ярко-оранжевого цвета с дополнительным бирюзовым контуром, выделяющим легочный ствол, правую и левую легочные артерии. Также *a* имеет дополнительные модули, маркирующие инфильтративные изменения легких (оранжевый контур) и диаметр грудной аорты (зеленая линия)

Fig. 1. Example of the performance of domestic AI services listed in Table 1 on chest CT scans: the artificial intelligence technology accurately identified and marked pulmonary artery dilation: *a* — orange line; *b* — green line; *v* — red line; *z* — bright orange line with an additional turquoise contour highlighting the pulmonary trunk, right and left pulmonary arteries. Additionally, *a* includes modules that mark infiltrative changes in the lungs (orange contour) and the diameter of the thoracic aorta (green line)

Статистической обработке подвергались данные о результатах обнаружения патологии легочного ствола системами ИИ, включающие информацию о поле, возрасте, наибольшем диаметре легочного ствола по короткой оси пациентов.

Обработка данных и компьютерное моделирование проводились с помощью языка программирования R в среде RStudio (Version 1.2.5042, RStudio, Inc.) на основе собственных оригинальных программных модулей, созданных авторами. Для оценки однород-

ности дисперсий величин использовались тесты Флигнера–Килина и Барлетта. Определение выбросов осуществлялось с помощью теста Бонферрони. Соотношение частот проводилось с помощью теста хи-квадрат Пирсона с поправкой Йейтса. Сравнительный анализ средних проводился дисперсионным анализом (ANOVA). Корреляция между переменными определялась с помощью коэффициента Пирсона и Спирмана. Для всех статистических тестов вероятность совершить ошибку первого рода принималась равной или меньшей 5%, а доверительные интервалы брались в диапазоне 95%.

Показатель распространенности заболевания определялся как отношение среднего числа случаев за год к среднегодовой численности населения, умноженное на 100 000. Использовано среднее значение среднегодовой численности населения за 2022 г.— 13 059 651, из них 46% — мужчины, 54% — женщины (по открытым данным Управления Федеральной службы государственной статистики по г. Москве и Московской области¹).

Результаты. В период с октября 2022 по февраль 2023 г. было обследовано в общей сложности 125 878 пациентов, среди которых у 43 242 (34,4%) было выявлено наличие патологии легочного ствола. Распространенность расширения легочного ствола у населения г. Москвы составила 794,7 случая на 100 000 населения, в зависимости от пола распространенность составила: 769,5 случая на 100 000 у женщин и 824,2 случая на 100 000 населения у мужчин. В табл. 2 представлены частотные характеристики встречаемости изменений диаметра легочного ствола в различных половозрастных группах пациентов.

шей более ярко выражен именно у женщин (от 10,2 до 62,8%). Из табл. 2 также следует, что возраст статистически значимым образом коррелирует с частотой встречаемости расширения легочного ствола как у женщин (р-значение <0,001), так и у мужчин (р-значение <0,001). Зависимость частоты встречаемости расширения легочного ствола от пола имеет особенность, заключающаяся в том, что для возрастной группы долгожителей частота признака не различается статистически значимо между мужчинами и женщинами (р-значение=0,964), что, возможно, связано с половой диспропорцией в данной возрастной группе у населения города Москвы.

Была построена модель логистической регрессии с целью выявления факторов, влияющих на риск наличия патологии. Было установлено, что отношение шансов выявления наличия аневризмы у мужчин по сравнению с женщинами того же возраста составляет 1,398 (95% ДИ 1,294; 1,502; значение z-критерия 26,303, p<0,001). Увеличение возраста на 5 лет в 1,292 раза повышает вероятность наличия данного фактора риска (95% ДИ 1,274; 1,309; значение z-критерия 87,575, p<0,001).

Непосредственно измерение диаметра легочного ствола по короткой оси в зависимости от пола и возраста пациентов представлено в табл. 3.

Данные, приведенные в табл. 3, демонстрируют, что динамика роста среднего диаметра легочного ствола по короткой оси сохраняется с возрастом как для мужчин, так и для женщин ($r=0,31$). На основании проведенного дисперсионного анализа, результаты которого также представлены в табл. 3, можно сказать, что различия наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в целом между возрастными

Таблица 2

Частота встречаемости расширения легочного ствола выше порогового значения в различных возрастных группах

Table 2

Frequency of pulmonary artery dilation above the threshold value in different age groups

Возрастная группа, лет	Мужчины	Женщины	Суммарно	χ^2 ; p (по полу)
18–44	2891/15354 (18,8%)	1336/13186 (10,2%)	4227/28540 (14,8%)	425,3; <0,001
45–59	4491/14185 (31,7%)	2619/13624 (19,2%)	7110/27809 (25,6%)	564,8; <0,001
60–74	8246/21310 (43,5%)	8571/22731 (37,7%)	16817/41678 (40,4%)	145,2; <0,001
75–89	4549/8704 (52,3%)	8735/16271 (53,7%)	13284/24975 (53,2%)	4,6; 0,032
90 и более	453/723 (62,7%)	1351/2153 (62,8%)	1804/2876 (62,7%)	0,0; 0,964
Суммарно	20 630/57 913 (35,6%)	22 612/67 965 (33,3%)	43 242/125 878 (34,4%)	76,7; <0,001
χ^2 ; p (по возрасту)	3800; <0,001	8500; <0,001	11000; <0,001	

На основании приведенных данных можно утверждать, что мужчины более подвержены этой патологии (35,6%), причем чем старше мужчина, тем вероятнее проявление патологических изменений. Для женской популяции сохраняется такая же зависимость, при этом рост частоты встречаемости этого заболевания от средней возрастной группы к стар-

группами как для мужчин, так и для женщин статистически значимы (р-значение <0,0001), причем наиболее ярко они проявляются в женской популяции (F-критерий = 2152,9; р-значение <0,0001), которая и обуславливает наибольший вклад в суммарные различия по этому показателю у населения города Москвы. Также четко выражен половой диморфизм

¹ <https://77.rosstat.gov.ru/folder/64634>.

наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси между мужской и женской популяциями (t -значение = 15,5; p -значение <0,0001), хотя средние значения не имеют четко выраженных различий между полами.

большого диаметра легочного ствола по короткой оси больше среднего по популяции (положительная асимметрия, см. рис. 2). В средней возрастной группе данная тенденция наиболее выражена, а также острота (эксцесс) пика графика распределения имеет

Таблица 3
Описательная статистика наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси (единицы измерения в параметрах указаны в мм)

Table 3
Descriptive statistics of the maximum diameter of the pulmonary trunk along the short axis (measured in mm)

Пол	Параметр	Возрастная группа, лет					Суммарно
		18–44	45–59	60–74	75–89	90 и более	
Суммарно	n	28 540	27 809	41 678	24 975	2876	125 878
	Mean	25,4	26,6	28,1	29,3	30,4	27,5
	SD	3,2	3,7	4,4	4,6	4,7	4,3
	95% ДИ	(25,4; 25,4)	(26,6; 26,7)	(28,0; 28,1)	(29,3; 29,4)	(30,2; 30,6)	(27,4; 27,5)
	Min	11	14	13	11	15	11
	Max	55	70	62	67	50	70
	Med	25	26	27	29	30	27
	Q1	23	24	25	26	27	24
	Q3	27	29	31	32	33	30
	F(ANOVA)		4063,4				
	p		<0,0001				
Мужчины	n	15 354	14 185	18 947	8704	723	57 913
	Mean	26,0	27,3	28,4	29,2	30,3	27,6
	SD	3,2	3,9	4,5	4,6	4,5	4,2
	95% ДИ	(25,9; 26,0)	(27,2; 27,3)	(28,4; 28,5)	(29,1; 29,3)	(30,0; 30,7)	(27,6; 27,7)
	Min	17	14	16	17	21	14
	Max	55	70	62	54	45	70
	Med	26	27	28	29	30	27
	Q1	24	25	25	26	27	25
	Q3	28	29	31	32	33	30
	F(ANOVA)		1239,3				
	p		<0,0001				
Женщины	n	13 186	13 624,0	22 731	16 271	2153	67 965
	Mean	24,7	25,9	27,8	29,4	30,4	27,3
	SD	3,0	3,5	4,3	4,6	4,7	4,4
	95% ДИ	(24,7; 24,8)	(25,9; 26)	(27,7; 27,8)	(29,3; 29,5)	(30,2; 30,6)	(27,3; 27,3)
	Min	11	15	13	11	15	11
	Max	46	58	60	67	50	67
	Med	24	25	27	29	30	27
	Q1	23	24	25	26	27	24
	Q3	26	28	30	32	33	30
	F(ANOVA)		3270,0				
	p		<0,0001				
t; p (между полами)		14,0; <0,0001					

Интересным представляется изучение популяционных показателей степени отклонения распределения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси от симметричного распределения, результаты которого представлены в табл. 4.

Данные, приведенные в табл. 4, показывают, что начиная с пожилого возраста наблюдается уменьшение значений асимметрии и эксцесса, что говорит о более равномерном распределении и уменьшении количества аномальных значений диаметра легочного ствола в старших возрастных группах. Во всех возрастных группах чаще встречаются значения наи-

большее значение, что говорит об увеличении количества экстремальных значений диаметра легочного ствола в данной возрастной группе. На рис. 3 представлены гистограммы распределения частоты наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в средней и старческой возрастных группах.

Попарное сравнение возрастных групп показало, что все группы как у мужчин, так и у женщин статистически значимо (p -значения <0,001) отличаются друг от друга по показателю наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси, при этом степень этих различий неоднородна. Наибольшие различия

Таблица 4
Некоторые параметры распределения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в мужской и женской популяции пациентов

Table 4
Selected parameters of the distribution of the maximum diameter of the pulmonary trunk along the short axis in male and female patient populations

Возрастная группа, лет	Асимметрия	Эксцесс
18–44	0,804	1,971
45–59	1,128	3,232
60–74	0,903	1,486
75–89	0,664	0,834
90 и более	0,553	0,442

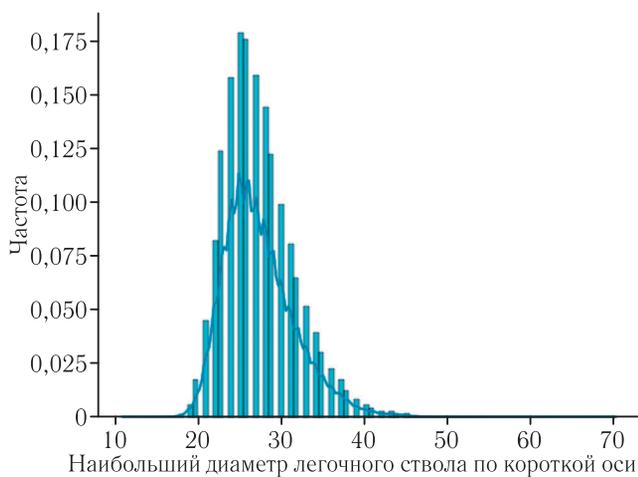


Рис. 2. Гистограмма распределения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси во всех возрастных группах (линией обозначена ядерная оценка плотности)
Fig. 2. Histogram of the distribution of the maximum pulmonary artery diameter along the short axis across all age groups (the line represents the kernel density estimation)

ствола по короткой оси были построены и проанализированы динамические ряды этого показателя для мужского и женского населения. Полученные результаты анализа динамического рядов представлены в табл. 5 и 6.

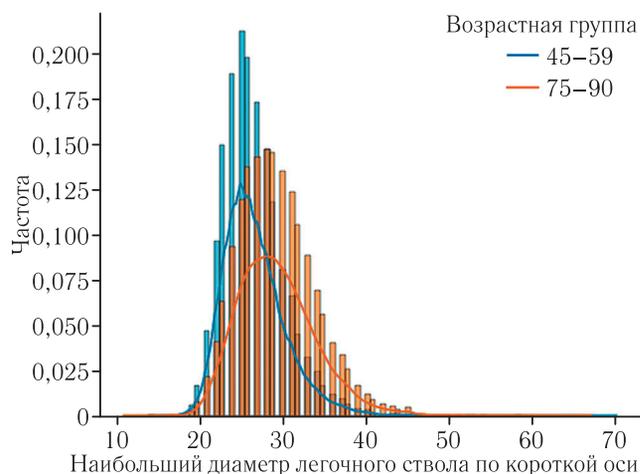


Рис. 3. Гистограммы распределения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в средней и старческой возрастных группах (линиями обозначена ядерная оценка плотности для гистограмм)
Fig. 3. Histograms of the distribution of the maximum pulmonary artery diameter along the short axis in the middle-aged and elderly groups (lines represent kernel density estimates for the histograms)

На основании представленных данных можно заключить, что изменения скорости роста наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в возрастных группах как женщин, так и мужчин неравномерны: наибольшее значение у мужчин наблюдается в возрасте 45–59 лет (1,3), а наименьшее — в возраст-

Таблица 5
Динамический ряд показателя «наибольший диаметр легочного ствола по короткой оси» (мужское население)

Table 5
Dynamic series of the «maximum short-axis diameter of the pulmonary artery» indicator (male population)

Возрастная группа	Средний уровень динамического ряда	Базисный абсолютный прирост	Скорость роста	Базисный коэффициент роста	Цепной коэффициент роста	Темп роста	Базисный темп прироста	Цепной темп прироста
18–44	26,0	—	—	—	—	—	—	—
45–59	27,3	1,3	1,3	1,05	1,05	105,00	5,00	5,00
60–74	28,4	2,4	1,1	1,09	1,04	104,03	9,23	4,03
75–89	29,2	3,2	0,8	1,12	1,03	102,82	12,31	2,82
90 и более	30,3	4,3	1,1	1,17	1,04	103,77	16,54	3,77

средних значений наблюдаются между младшей и старшей возрастными группами (5 мм), наименьшие — внутри старших возрастных групп (1,1 мм); данная закономерность свойственна как мужской, так и женской популяциям. Наибольшее различие в среднем не превышало 2,5 мм, что с клинической точки зрения является значимым. Для более точной характеристики возрастных изменений диаметра легочного

сте 75–89 лет (0,8). У женщин изменения скорости роста наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в возрастных группах имеют свои особенности — так, наибольшие показатели скорости роста имеют большие значения и смещены в более старшую по сравнению с мужчинами возрастную группу — 60–74 лет (1,9). Базисный абсолютный прирост в возрастных группах как мужчин, так и женщин

Таблица 6

Динамический ряд показателя «наибольший диаметр легочного ствола по короткой оси» (женское население)

Table 6

Dynamic series of the indicator «maximum diameter of the pulmonary artery short axis» (female population)

Возрастная группа	Средний уровень динамического ряда	Базисный абсолютный прирост	Скорость роста	Базисный коэффициент роста	Цепной коэффициент роста	Темп роста	Базисный темп прироста	Цепной темп прироста
18–44	24,7	—	—	—	—	—	—	—
45–59	25,9	1,2	1,2	1,05	1,05	104,86	4,86	4,86
60–74	27,8	3,1	1,9	1,13	1,07	107,34	12,55	7,34
75–89	29,4	4,7	1,6	1,19	1,06	105,76	19,03	5,76
90 и более	30,4	5,7	1,0	1,23	1,03	103,40	23,08	3,40

равномерен и показывает свои наибольшие значения как для мужчин (4,3), так и для женщин (5,7) в одной и той же возрастной группе — 90 лет и старше.

Так как наша работа посвящена в том числе изучению опыта применения новой технологии диагностирования патологии легочного ствола с использованием современных информационных технологий, важным ее результатом с методологической точки зрения является выяснение эффективности идентификации этой патологии системами ИИ. Данные результаты представлены в табл. 7.

позволили автоматически выявить признаки расширения легочного ствола у 34,4% пациентов (из 125 878 проанализированных КТ-исследований). Необходимо уточнить, что 77% пациентов из популяции относились к возрастной категории 45+, включая среднюю, пожилую, старческую возрастные категории и долгожителей. Согласно полученным данным, удельный вес лиц с расширенным легочным стволом увеличивается с возрастом на популяционном уровне: в группе молодого возраста — 14,8%, в группе долгожителей — 62,7%. Сложившуюся тен-

Анализ ошибок систем ИИ по идентификации патологии легочного ствола

Таблица 7

Analysis of AI system errors in identifying pulmonary artery pathology

Table 7

Тип совокупности	Размер	Число ошибок	Частота ошибок (средняя ошибка)	Стандартная ошибка средней ошибки	95% ДИ средней ошибки
Выборка	100	9	0,09	0,028	[0,034; 0,146]
Популяция	125 878	11 329	0,09	0,000263	[0,0895; 0,0905]

Из табл. 7 следует, что вероятность совершить ошибку системой ИИ в среднем составляет 9%, при том что аппроксимация данной вероятности на общую популяцию пациентов приводит к выводу о сужении 95% доверительного интервала этой ошибки в диапазоне от 8,95 до 9,05%.

Обсуждение. Следует отметить, что в России на сегодняшний день отсутствует информация о распространенности расширения легочного ствола по данным КТ-исследований на популяционном уровне. Благодаря широкому внедрению ТИИ в медицину и появлению возможности быстрой количественной оценки больших объемов клинических данных, нам удалось впервые провести популяционное эпидемиологическое исследование распространенности дилатации ствола легочной артерии по данным КТ ОГК у населения г. Москвы¹ [10–12].

Алгоритмы анализа информации на основе компьютерного зрения и машинного обучения, обрабатывая большие объемы данных КТ-исследований,

денцию можно объяснить повышением распространенности хронических неинфекционных заболеваний, сопровождающихся развитием легочной гипертензии, среди лиц пожилого и старческого возраста [13].

Известно, что расширение ствола легочной артерии по данным КТ-исследования является одним из основных симптомов легочной гипертензии (ЛГ) [14]. ЛГ представляет собой гетерогенное состояние, ассоциированное с различными сердечно-сосудистыми, респираторными заболеваниями и крайне редко может выступать в роли самостоятельного заболевания. При отсутствии лечения ЛГ в конечном итоге приводит к правожелудочковой недостаточности и смерти, которая наступает в связи с развившимися осложнениями, такими как тромбоэмболия, нарушение сердечного ритма, отек легких [2, 5, 15].

Важно отметить, что распространенность ЛГ при хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) составляет до 20% случаев при наличии у пациента одной госпитализации вследствие дыхательной

¹ Владимирский А.В., Васильев Ю.А., Арзамасов К.М. и др. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента. 2-е изд. М., 2023.

недостаточности. В развернутой стадии ХОБЛ частота ЛГ возрастает до 50% случаев и более [5]. Известно, что ХОБЛ является одной из лидирующих причин смерти во всем мире [16]. Наличие легочной гипертензии у пациентов с ХОБЛ ассоциируется со снижением их выживаемости и является независимым фактором риска смерти при обострении данного заболевания [20, 21].

Раннее выявление ЛГ у пациентов с ХОБЛ необходимо для правильного выбора тактики ведения данных пациентов и улучшения их прогноза.

Несмотря на то, что доплеровская эхокардиография получила широкое распространение в диагностике легочной гипертензии, у пациентов с ХОБЛ тяжелого течения данное исследование имеет ограничения в применении из-за легочной гиперинфляции и трудности в получении четкого акустического окна [19]. «Золотым стандартом» диагностики легочной гипертензии является измерение среднего давления в легочной артерии (СДЛА) в покое при катетеризации правых отделов сердца (КПОС), однако данный метод является инвазивным [20]. Было показано, что измерение отношения диаметра легочной артерии (dЛА) к диаметру аорты (dА) по данным компьютерной томографии коррелирует с измерением давления в легочной артерии, выполненным при проведении КПОС. Таким образом, идентификация расширения легочного ствола, когда $dЛА/dА > 1$, имеет четкую связь с инвазивным измерением давления в легочной артерии и наличием легочной гипертензии у пациента соответственно [21].

В 2020 г. были опубликованы данные исследования D. C. LaFon и соавт., в котором авторы показали, что расширение легочной артерии, выявленное при КТ-исследовании легких, является независимым фактором риска смерти среди пациентов с ХОБЛ средней и тяжелой степени [22]. По данным исследования, проведенного J. Michael Wells и соавт., была выявлена положительная корреляция между расширением легочного ствола по данным КТ ($dЛА/dА > 1$) и риском обострения заболевания у пациентов с ХОБЛ тяжелого течения [23]. Согласно мета-анализу, включившему 18 исследований с участием 5694 пациентов, расширение ствола легочной артерии, установленное по данным КТ-исследования, ассоциировалось с более низкой толерантностью к физическим нагрузкам, пониженным качеством жизни и более высокой смертностью у пациентов с ХОБЛ [24].

В 2017 г. были опубликованы результаты когортного исследования, проведенного в рамках проспективного популяционного исследования по выявлению факторов риска и распространенности хронических заболеваний у населения города Роттердам. В исследование было включено 2197 пациентов, средний возраст которых составил $69,7 \pm 6,7$ года. Всем пациентам было выполнено КТ-исследование органов грудной клетки, по данным которого было рассчитано отноше-

ние $dЛА/dА$. Авторы продемонстрировали отсутствие связи между расширением легочного ствола ($dЛА/dА > 1$) и смертностью в общей популяции. Однако при рассмотрении подгруппы пациентов с ХОБЛ была установлена корреляция между патологическим отношением $dЛА/dА > 1$ и повышенным риском смерти, особенно в подгруппах пациентов с ХОБЛ средней и тяжелой степени тяжести течения [25].

R. Chad Wade и соавт. показали, что расширение легочного ствола, выявленное при проведении КТ ОГК, ассоциируется с тяжелыми обострениями и смертностью от всех причин у пациентов — злостных курильщиков, у которых нет хронической обструктивной болезни легких, но показатели спирографии патологически изменены [26].

Также важно учитывать, что причиной расширения ствола легочной артерии может быть перенесенный пациентом COVID-19 [6]. Согласно данным литературы, диаметр ствола легочной артерии, превышающий 29 мм при поступлении, был выявлен как независимый предиктор тяжелого течения заболевания COVID-19. Это установленное пороговое значение представляет собой важный индикатор для прогнозирования неблагоприятных исходов у пациентов, столкнувшихся с COVID-19 [27].

Важно отметить прогностическую роль расширения ствола легочной артерии ($dЛА/dА > 1$) у пациентов без предшествующего анамнеза ишемической болезни сердца (ИБС), направленных на проведение КТ-коронарографии. Rine Nakanishi и соавт. показали, что вне зависимости от наличия традиционных факторов риска развития ИБС повышение отношения $dЛА/dА > 1$ имеет связь с повышенным риском смерти от всех причин у данной категории пациентов. Кроме того, была отмечена более низкая фракция выброса левого желудочка (ФВЛЖ) в группе пациентов с расширенным легочным стволом [28].

Таким образом, расширение ствола легочной артерии может служить новым биомаркером для стратификации риска сердечно-сосудистых осложнений и смертности у пациентов, что поможет провести скрининг, выяснить причину ЛГ и ее тяжесть, отобрать пациентов, имеющих повышенный риск смерти, а следовательно изменить тактику их ведения для улучшения прогноза.

На сегодняшний день представляется актуальным дальнейшее развитие методологии оппортунистического скрининга с применением технологий ИИ. При этом широкое внедрение в клиническую практику данного подхода целесообразно и необходимо для повышения качества оказания медицинской помощи населению.

Заключение. Настоящее исследование, проведенное в г. Москве с использованием технологий искусственного интеллекта [29, 30], позволило впервые оценить популяционный уровень дилатации ствола легочной артерии по данным КТ органов грудной клетки.

Расширение ствола легочной артерии, выявленное при КТ-исследованиях, может быть предиктором (биологическим маркером) легочной гипертензии, которая связана с различными сердечно-сосудистыми и респираторными заболеваниями и в конечном итоге

привести к развитию правожелудочковой недостаточности и смерти. Эти результаты подчеркивают важность ранней диагностики и эффективного лечения легочных нарушений для предотвращения тяжелых осложнений и повышения качества жизни пациентов.

Сведения об авторах:

Соловьёв Александр Владимирович — младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; врач-рентгенолог государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы»; 119049, Москва, пер. 4-й Добрынинский, д. 1/9; e-mail: atlantis.92@mail.ru; ORCID 0000-0003-4485-2638; SPIN 9654-4005;

Васильев Юрий Александрович — кандидат медицинских наук, директор государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-0208-5218; SPIN 4458-5608;

Синицын Валентин Евгеньевич — доктор медицинских наук, профессор, руководитель по развитию международного научного партнерства государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии факультета фундаментальной медицины федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»; e-mail: vsini@mail.ru; ORCID 0000-0002-5649-2193; SPIN 8449-6590;

Владимирский Антон Вячеславович — доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-2990-7736; SPIN 3602-7120;

Иванова Галина Владимировна — младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: IvanovaGV13@zdrav.mos.ru; ORCID 0009-0009-8470-223X; SPIN 4035-1563.

Information about the authors:

Alexander V. Solovov — Junior Researcher at the Department of Standardization and Quality Control Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health; 127051, Moscow, st. Petrovka, 24, building 1; Radiologist Morozov Children's City Clinical Hospital of the Moscow Health Department; 119049, Moscow, per. 4th Dobryninsky, 1/9; e-mail: atlantis.92@mail.ru; ORCID 0000-0003-4485-2638; SPIN 9654-4005;

Yuriy A. Vasilev — Cand. of Sci. (Med.), Director Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health; 127051, Moscow, st. Petrovka, 24, building 1; e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-0208-5218; SPIN 4458-5608;

Valentin E. Sinitsyn — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of International Scientific Partnership Development Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department; 127051, Moscow, st. Petrovka, 24, building 1; Head of the Department of Radiation Diagnostics and Therapy of the Faculty of Fundamental Medicine Moscow State University named after M. V. Lomonosov; e-mail: vsini@mail.ru; ORCID 0000-0002-5649-2193; SPIN 8449-6590;

Anton V. Vladzimirskiy — Dr. of Sci. (Med.), Deputy Director for Scientific Work Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department; 127051, Moscow, st. Petrovka, 24, building 1; e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-2990-7736; SPIN 3602-7120;

Galina V. Ivanova — Junior Researcher at the Department of Standardization and Quality Control Scientific and Practical Medical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Department; 127051, Moscow, st. Petrovka, 24, building 1; email: IvanovaGV13@zdrav.mos.ru; ORCID 0009-0009-8470-223X; SPIN 4035-1563.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *В.Е. Синицын, А.В. Владимирский*; сбор и анализ данных — *А.В. Соловьёв, Ю.А. Васильев*; подготовка рукописи — *А.В. Соловьёв, Ю.А. Васильев, Г.В. Иванова, В.Е. Синицын, А.В. Владимирский*.

Authors' contribution. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution: concept and research plan — *VES, AVV*; data collection and analysis — *AVS, YuAV*; preparation of the manuscript — *AVS, YuAV, GVI, VES, AVV*.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Соответствие принципам этики: Одобрения этического комитета не требовалось.

Adherence to ethical standards: The approval of the ethics committee was not required.

Поступила/Received: 16.05.2024

Принята к печати/Accepted: 29.11.2024

Опубликована/Published: 29.12.2024

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Hoepfer M.M., Humbert M., Souza R. et al. A global view of pulmonary hypertension // *Lancet Respir. Med. Elsevier*. 2016. Vol. 4, No. 4. P. 306–322. doi: 10.1016/S2213-2600(15)00543-3.
2. Galie N., Humbert M., Vachiery J.L. et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endor // *Eur. Respir. J.* 2015. Vol. 46, No. 4. P. 903–975. doi: 10.1183/13993003.51032-2015.
3. Humbert M., Kovacs G., Hoepfer M.M. et al. 2022 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: Developed by the task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS). Endorsed by the International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT) and the European Reference Network on rare respiratory diseases (ERN-LUNG) // *Eur. Heart J. Oxford Academic*, 2023. Vol. 44, No. 15. P. 1312–1312. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad005>.
4. Gabbay E., Fraser J., McNeil K. Review of bosentan in the management of pulmonary arterial hypertension // *Vascular health and risk management*. 2007. Vol. 3, 6. P. 887–900. <https://doi.org/10.2147/vhrm.s12187426>.
5. Chazova I. E., Martynyuk T. V., Valieva Z. S. et al. Eurasian Clinical Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension // *Eurasian Journal of Cardiology*. 2020. No. 1. P. 78–122. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2020-1-78-122>.
6. Aliev A.F., Kudryavtsev N.D., Petraikin A.V. et al. Changing of pulmonary artery diameter in accordance with severity of COVID-19 (assessment based on non-contrast computer tomography) // *Digit. Diagnostics. Eco-Vector LLC*, 2021. Vol. 2, No. 3. P. 249–260. doi: 10.17816/DD76726.
7. Chuchalin A.G., Khaltayev N., Antonov N.S. et al. Chronic respiratory diseases and risk factors in 12 regions of the Russian Federation // *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis. Dove Press*. 2014. Vol. 9, No. 1. P. 963–974. doi: 10.2147/COPD.S67283.
8. Lewis G., Hoey E.T., Reynolds J.H. et al. Multi-detector CT assessment in pulmonary hypertension: techniques, systematic approach to interpretation and key findings // *Quant. Imaging Med. Surg. AME Publications*. 2015. Vol. 5, No. 3. P. 423. doi: 10.3978/j.issn.2223-4292.2015.01.05.
9. Truong Q.A., Massaro J.M., Rogers I.S. et al. Reference Values for Normal Pulmonary Artery Dimensions by Noncontrast Cardiac Computed Tomography // *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2012. Vol. 5, No. 1. P. 147–154. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.111.968610.
10. Gusev A.V., Vladzimirsky A.V., Sharova D.E. et al. Evolution of research and development in the field of artificial intelligence technologies for healthcare in the Russian Federation: results of 2021 // *Digit. Diagnostics*. 2022. Vol. 3, No. 3. doi: 10.17816/DD107367.
11. Morozov S.P., Vladzimirsky A.V., Shulkin I.M. et al. Feasibility of using artificial intelligence in radiology (first year of Moscow experiment on computer vision) // *Doctor and information technology*. 2022. No. 1. doi: 10.25881/18110193_2022_1_12.
12. Morozov S.P., Gavrilov A.V., Arkhipov I.V. et al. Effect of artificial intelligence technologies on the CT scan interpreting time in COVID-19 patients in inpatient setting // *Profil. Meditsina*. 2022. Vol. 25, No. 1. doi: 10.17116/profmed20222501114.
13. Maslennikova G.Y., Oganov R.G. Prevention of noncommunicable diseases as an opportunity to increase life expectancy and healthy longevity // *Cardiovasc. Ther. Prev.* 2019. Vol. 18, No. 2. doi: 10.15829/1728-8800-2019-2-5-12.
14. Zouk A.N., Gulati S., Xing D. et al. Pulmonary artery enlargement is associated with pulmonary hypertension and decreased survival in severe cystic fibrosis: A cohort study // *PLoS One*. 2020. Vol. 15, No. 2. doi: 10.1371/journal.pone.0229173.
15. Erratum: 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. The joint task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ER) // *European Respiratory Journal*. 2015. Vol. 46, No. 6. doi: 10.1093/eurheartj/ehv317.
16. López-Campos J.L., Tan W., Soriano J.B. Global burden of COPD // *Respirology*. 2016. Vol. 21, No. 1. doi: 10.1111/resp.12660.
17. McGhan R., Radcliff T., Fish R. et al. Predictors of rehospitalization and death after a severe exacerbation of COPD // *Chest*. 2007. Vol. 132, No. 6. doi: 10.1378/chest.06-3018.
18. Gologanu D., Stanescu C., Bogdan M.A. Pulmonary hypertension secondary to chronic obstructive pulmonary disease // *Rom. J. Intern. Med.* 2012. Vol. 50, No. 4. P. 259–268.
19. Arcasoy S.M., Christie J.D., Ferrari V.A. et al. Echocardiographic assessment of pulmonary hypertension in patients with advanced lung disease // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2003. Vol. 167, No. 5. doi: 10.1164/rccm.200210-1130OC.
20. Mandras S.A., Mehta H.S., Vaidya A. Pulmonary Hypertension: A Brief Guide for Clinicians // *Mayo Clin. Proc.* 2020. Vol. 95, No. 9. doi: 10.1016/j.mayocp.2020.04.039.
21. Iyer A.S., Wells J.M., Vishin S. et al. CT scan-measured pulmonary artery to aorta ratio and echocardiography for detecting pulmonary hypertension in severe COPD // *Chest*. 2014. Vol. 145, No. 4. doi: 10.1378/chest.13-1422.
22. LaFon D.C., Bhatt S.P., Labaki W.W. et al. Pulmonary artery enlargement and mortality risk in moderate to severe COPD: Results from COPDGene // *Eur. Respir. J.* 2020. Vol. 55, No. 2. doi: 10.1183/13993003.01812-2019.
23. Wells J.M., Washko G.R., Han M.K. et al. Pulmonary arterial enlargement and acute exacerbations of COPD // *N. Engl. J. Med.* 2012. Vol. 367, No. 10. doi: 10.1056/NEJMoa1203830.
24. Chen H., Shu T., Wang L. et al. Pulmonary artery enlargement predicts poor survival in patients with COPD: A meta-analysis // *Pulm. Circ.* 2022. Vol. 12, No. 3. doi: 10.1002/pul2.12099.
25. Terzikhan N., Bos D., Lahousse L. et al. Pulmonary artery to aorta ratio and risk of all-cause mortality in the general population: The Rotterdam Study // *Eur. Respir. J.* 2017. Vol. 49, No. 6. doi: 10.1183/13993003.02168-2016.
26. Wade R.C., Simmons J.P., Boueiz A. et al. Pulmonary artery enlargement is associated with exacerbations and mortality in ever-smokers with preserved ratio impaired spirometry // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2021. Vol. 204, No. 4. doi: 10.1164/rccm.202103-0619LE.
27. Zhu Q.Q., Gong T., Huang G.Q. et al. Pulmonary artery trunk enlargement on admission as a predictor of mortality in in-hospital patients with COVID-19 // *Jpn. J. Radiol. Springer Japan*. 2021. Vol. 39, No. 6. P. 589–597. doi: 10.1007/s11604-021-01094-9.
28. Nakanishi R., Rana J.S., Shalev A. et al. Mortality risk as a function of the ratio of pulmonary trunk to ascending aorta diameter in patients with suspected coronary artery disease // *Am. J. Cardiol.* 2013. Vol. 111, No. 9. doi: 10.1016/j.amjcard.2013.01.266.
29. Solovov A.V., Vasilev Y.A., Sinityn V.E. et al. Improving aortic aneurysm detection with artificial intelligence based on chest computed tomography data // *Digital Diagnostics*. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 29–40. doi: 10.17816/DD569388.
30. Vasiliev Yu.A., Bobrovskaya T.M., Arzamasov K.M. et al. Fundamental principles of standardization and systematization of information about data sets for machine learning in medical diagnostics // *Manager of Healthcare*. 2023. No. 4. P. 28–41. doi: 10.21045/1811-0185-2023-4-28-41.