



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1446>

Влияние системы автоматического выявления ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии на процесс принятия врачебных решений

© Андропова П.Л.^{1*}, Колесникова П.А.⁴, Гаврилов П.В.³, Кокорев О.В.⁵,
Чернова Е.В.¹, Курносенко О.А.¹, Галустян Д.Х.¹, Бойцова М.Г.²,
Трофимова Т.Н.²

¹ ГБУЗ “Елизаветинская больница”; 195257 Санкт-Петербург, ул. Вавиловых, д. 14, литера А, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”; 199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9, Российская Федерация

³ ФГБУ “Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии” Минздрава России; 191036 Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2-4, Российская Федерация

⁴ ФГБУН “Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля” Российской академии наук; 119334 Москва, ул. Косыгина, д. 4, Российская Федерация

⁵ ООО “ДжиИ Хэслкеа”; 123317 Москва, Пресненская наб., д. 10, Российская Федерация

Цель исследования: изучение возможности применения моделей параллельного и второго чтения при внедрении программы автоматического выявления ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии в диагностический процесс врачей со стажем до трех лет и различным опытом в urgentной нейрорадиологии.

Материал и методы. В исследование включены программный продукт на основе технологий искусственного интеллекта, а также 7 врачей со стажем до трех лет и различным опытом в диагностике ишемического инсульта. Комплементарная оценка осуществлялась на базе, включающей 100 пациентов, поступивших в Региональный сосудистый центр Санкт-Петербурга с клинической картиной ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии, которым были выполнены нативные КТ-исследования головного мозга. Ишемический инсульт у половины пациентов был подтвержден на основе клинических данных, а также проведения КТ-ангиографии сосудов головного мозга и КТ-перфузии. У другой половины данный диагноз исключили. Были смоделированы два варианта внедрения алгоритма искусственного интеллекта в качестве системы поддержки принятия решений в диагностический процесс врача-рентгенолога: первого (параллельного) и второго чтения.

Результаты. Результаты исследования показали, что при применении модели комплементарной оценки “параллельное чтение” происходит увеличение показателей диагностической эффективности, а также межэкспертного согласия при оценке по шкале ASPECTS среди молодых специалистов вне зависимости от наличия опыта работы с urgentной патологией.

Ключевые слова: ишемический инсульт; искусственный интеллект; компьютерная томография; молодые специалисты; модель комплементарной оценки

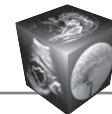
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Андропова П.Л., Колесникова П.А., Гаврилов П.В., Кокорев О.В., Чернова Е.В., Курносенко О.А., Галустян Д.Х., Бойцова М.Г., Трофимова Т.Н. Влияние системы автоматического выявления ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии на процесс принятия врачебных решений. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 42–52. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1446>

Поступила в редакцию: 12.02.2024.

Принята к печати: 14.03.2024.

Опубликована online: 15.05.2024.



Influence of the implementation of automatic artificial intelligence-based CT image analysis systems in diagnosis of middle cerebral artery stroke in human

© Polina L. Andropova^{1*}, Polina A. Kolesnikova⁴, Pavel V. Gavrillov³,
Oleg V. Kokorev⁵, Elena V. Chernova¹, Olesya A. Kurnosenko¹,
Diana H. Galustyan¹, Marina G. Boytsova², Tatiana N. Trofimova²

¹ St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth; 14, Vavilovskiy str., St. Petersburg 195257, Russian Federation

² St. Petersburg State University; 7-9, Universitetskaya Embankment, St. Petersburg 199034, Russian Federation

³ Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology; 2-4, Ligovskiy prospect, St. Petersburg 191036, Russian Federation

⁴ Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences; 4, Kosygina str., Moscow 119334, Russian Federation

⁵ GE Healthcare; 10A, Presnenskaya embankment, Moscow 123317, MIBC Moscow City, Embankment Tower, Russian Federation

The purpose of the study was to investigate the possibility of applying first-reader and second-reader modes in the implementation of an automatic detection program for MCA ischemic stroke in the diagnostic process of radiologists with less than 3 years of experience and varying expertise in emergency neuroradiology.

Material and methods. The study included a software product based on artificial intelligence technologies, as well as seven doctors with less than 3 years of experience and varying expertise in the diagnosis of ischemic stroke. Complementary evaluation was performed based on a cohort of 100 patients admitted to the regional vascular center in Saint Petersburg with clinical presentation of ischemic stroke in the territory of the middle cerebral artery, who underwent native CT brain studies. Ischemic stroke was confirmed in half of the patients based on clinical data, as well as CT angiography of the cerebral vessels and CT perfusion. The diagnosis was ruled out in the other half. Two variants of implementing the artificial intelligence algorithm as a decision support system in the diagnostic process of a radiologist were simulated: the first (parallel) and second reader modes.

Results. The results of the study showed that the application of the complementary evaluation parallel- reader mode leads to an increase in diagnostic efficiency indicators and interobserver agreement in assessing ASPECTS scale among young specialists, regardless of their experience with urgent pathology.

Keywords: ischemic stroke; artificial intelligence; computed tomography; young specialists; complementary assessment model

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Andropova P.L., Kolesnikova P.A., Gavrillov P.V., Kokorev O.V., E.V. Chernova, Kurnosenko O.A., Galustyan D.H., Boytsova M.G., Trofimova T.N. Influence of the implementation of automatic artificial intelligence-based CT image analysis systems in diagnosis of middle cerebral artery stroke in human. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 42–52. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1446>

Received: 12.02.2024.

Accepted for publication: 14.03.2024.

Published online: 15.05.2024.

Актуальность

В настоящее время, согласно утвержденной Национальной стратегии развития искусственного интеллекта, в РФ активно идут разработка и внедрение алгоритмов автоматического анализа, в том числе в сфере здравоохранения [1]. Важнейшим направлением по внедрению в медицинскую сферу методов и систем поддержки принятия решений является лучевая диагностика ишемического инсульта. Одной из главных задач перед разработчиками алгоритмов искусствен-

ного интеллекта стоит достижение их системами пороговых значений эффективности не только согласно клиническим рекомендациям [2], но и значений, которые, как минимум, сопоставимы с данными врачей-рентгенологов с небольшим стажем (молодые специалисты со стажем до трех лет). Также отдельный интерес представляют варианты внедрения систем автоматического анализа при комплементарной оценке различных патологий совместно с лучевыми диагностами.



В статье N.A. Obuchowski и J.A. Bullen [3] описываются 4 различных подхода к использованию алгоритмов искусственного интеллекта в медицинской визуализации. Первый подход, известный как модель первого или параллельного чтения, предполагает, что алгоритм искусственного интеллекта сначала анализирует изображение, а затем его результаты рассматриваются врачом. Второй подход, или модель второго чтения, предполагает, что алгоритм искусственного интеллекта применяется после анализа данных врачом, чтобы дополнить их результатами его интерпретации. Третий подход, называемый моделью сортировки, заключается в распределении исследований в соответствии с процентным соотношением подозреваемой патологии. Наконец, четвертый подход, или модель предварительного скрининга, предполагает применение алгоритма искусственного интеллекта к набору изображений для выявления случаев без патологических изменений и генерацией клинического отчета, а также классификация оставшихся случаев как “не норма”, которые в последующем оцениваются врачом (рис. 1).

Для эффективного использования данных моделей алгоритмам искусственного интеллекта необходимо достичь и подтвердить их высокую точность, специфичность и чувствительность при диагностике патологических изменений, минимизируя ложноположительные и ложноотрицательные результаты.

В свете повышенного интереса к частичной автоматизации обработки диагностических изображений требуется расширить рекомендации по ее внедрению. До сих пор ведутся споры о вариантах применения искусственного интеллекта в медицинской практике, поэтому необходимы исследования для изучения данной проблемы.

В диссертации У.А. Смольниковой [4] были исследованы возможности систем автоматического анализа цифровых рентгенологических изображений для диагностики округлых образований в легких. Полученные результаты показали, что, несмотря на значительные достижения в аналитической валидации систем автоматического анализа, при совместной интерпретации рентгенограмм врачом и системами автоматического анализа наблюдались ошибки, которые суммировались. Это приводило к снижению диагностической эффективности с чувствительности 83 до 56,7% и специфичности с 99 до 93,9%. Однако при внедрении модели второго чтения, включающей предварительную оценку рентгенограмм врачом, последующий анализ с использованием системы автоматического анализа и повторное принятие решения человеком, было отмечено повышение специфич-

ности до 95% (на 10,6%), но при этом снизилась чувствительность до 66,7%.

Важно отметить, что использование этих систем с применением параллельного и второго чтения (согласно N.A. Obuchowski и J.A. Bullen [3]) привело к преимущественному снижению общей диагностической эффективности врачей, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности данных моделей внедрения алгоритмов искусственного интеллекта на данном этапе и в этом случае.

В нашем ранее проведенном исследовании [5] были оценены показатели эффективности отдельных систем автоматического анализа КТ-изображений в выявлении ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии (исследование проводилось на базе данных, описанной в разделе “Материал и методы” данного исследования). Согласно результатам исследования, ни одна из систем автоматического анализа использованных в нем, не достигла пороговых значений точности, установленных клиническими рекомендациями (0,8). Показатели точности систем находились в диапазоне от 0,67 (67%) до 0,75 (75%). Однако тестирование показало высокий уровень гипердиагностики (что и привело к снижению точности) и низкий уровень гиподиагностики патологических изменений с чувствительностью 88% и специфичностью 46%. Из 100 КТ-исследований программа правильно определила наличие патологии в 44 (истинно положительные ответы), но неправильно диагностировала патологию в 27 (ложноположительные ответы). Кроме того, она пропустила патологические изменения в 6 случаях (ложноотрицательные ответы) и правильно определила их отсутствие в 23 случаях (истинно отрицательные ответы).

Несомненно, возможность применения моделей параллельного и второго чтения для данной системы требует дальнейшего изучения, однако она не лишена перспективности, поскольку предполагает снижение пропуска патологии у врачей с небольшим стажем работы (до трех лет). В случае высокого уровня гиподиагностики системы (как у других программ из исследования) необходим обязательный пересмотр КТ-изображений врачом-рентгенологом. Такая последовательность действий может усложнить стандартный рабочий процесс.

Цель исследования: изучение влияния моделей параллельного и второго чтения на врачей со стажем менее трех лет с различным опытом в urgentной нейрорадиологии при комPLEMENTАРНОЙ оценке ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии совместно с программой автоматического анализа.

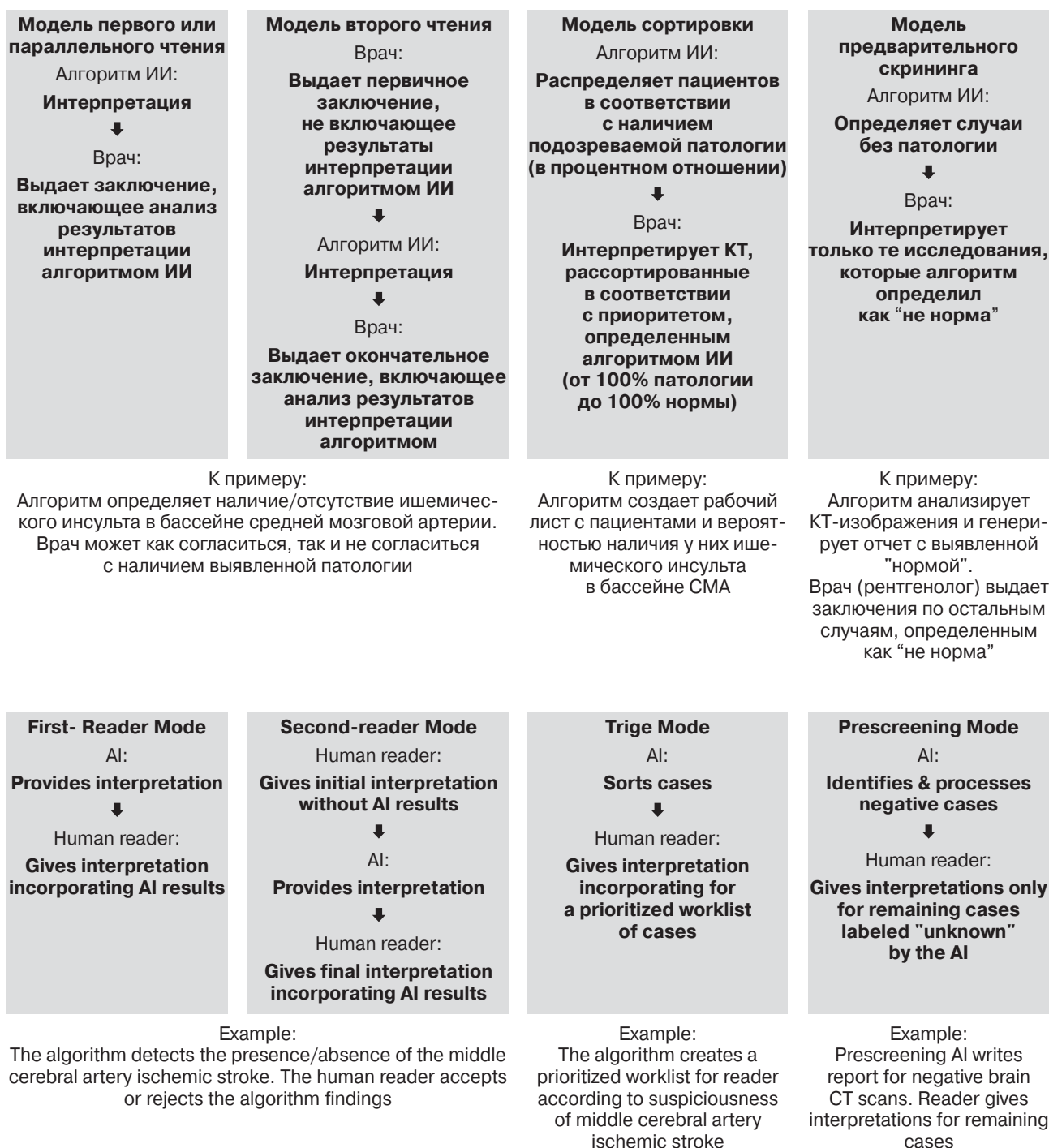
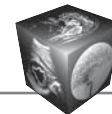


Рис. 1. Модели использования алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) в медицинской визуализации [3].

Fig. 1. Illustration of four use cases for AI [3].



Материал и методы

Для изучения изменений показателей эффективности врачей при внедрении алгоритма искусственного интеллекта был отобран программный продукт, точность которого составила 67%, чувствительность 88%, а специфичность 46%, из ранее проведенного исследования [5]. В рамках исследования был использован программный продукт, который позволял автоматически анализировать бесконтрастные КТ-изображения и оценивать участки с ишемическим поражением вещества головного мозга в остром периоде с использованием шкалы ASPECTS.

Для клинической валидации была использована база лучевых изображений (свидетельство о регистрации базы данных RU 2022620850), которая состояла из 100 КТ-исследований пациентов, поступивших в один из региональных сосудистых центров (РСЦ) Санкт-Петербурга в период с 1 июля по 30 декабря 2021 г. Все пациенты поступали с подозрением на острый ишемический инсульт согласно шкале догоспитальной оценки тяжести инсульта (LAMS).

Диагноз ишемического инсульта был установлен врачом-неврологом на основании клинических данных, согласно рекомендациям Министерства здравоохранения Российской Федерации. Для верификации диагноза были проведены КТ-ангиография сосудов головного мозга и КТ-перфузия. В результате анализа данных КТ-ангиографии и КТ-перфузии у 50 пациентов не было подтверждено наличие ишемического инсульта. У этих пациентов отсутствовали патологические изменения (ишемия) при контрольном КТ-исследовании в течение 24 ч после первоначальных диагностических мероприятий.

Все КТ-исследования пациентов с подтвержденным острым ишемическим инсультом были предварительно совместно оценены тремя врачами, обладающими экспертной квалификацией в ургентной нейрорадиологии и имеющими опыт в диагностике инсульта. Врачи совместно пришли к выводу, что во всех случаях с подтвержденным острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) в бассейне окклюзированной артерии (КТ-ангиографии и КТ-перфузии) определяются признаки ранних ишемических изменений (с ASPECTS 9 и ниже). Поэтому если программа оценивала исследование в 10 баллов по ASPECTS, исследование маркировалось как "отсутствие ОНМК", если при интерпретации выставлялся балл менее 10 в одном из полушарий, исследование маркировалось как "наличие ОНМК". Система автоматического анализа не допускала ошибки неправильного определения стороны инсульта.

В эксперименте приняли участие 7 врачей со стажем работы менее 3 лет. Врачи были разделены на 2 группы. 1-я группа специалистов ($n = 4$) РСЦ включала в себя врачей, имеющих опыт оказания неотложной медицинской помощи, включая диагностику ишемического инсульта в острых стадиях; 2-я группа специалистов ($n = 3$) без опыта работы в РСЦ включала врачей, работающих в стационарах общего профиля и не специализирующихся на ургентной патологии.

Исследование было разделено на 2 этапа (рис. 2) согласно моделям внедрения алгоритмов искусственного интеллекта: второго и параллельного чтения по N.A. Obuchowski и J.A. Bullen [3].

Перед началом тестирования рентгенологи были ознакомлены с показателями диагностической эффективности используемой системы автоматического анализа. Это позволило им оценить возможности и ограничения системы, а также учесть ее влияние на результаты их собственной диагностики.

На первом этапе врачам предлагалось оценить наличие или отсутствие ишемического инсульта на основе изображений бесконтрастной КТ головного мозга. Каждое исследование было оценено экспертами вне зависимости друг от друга, при этом наличие инсульта маркировалось как "1" и его отсутствие "0". Врачи также определяли сторону поражения. Затем специалистам сообщались результаты оценки искусственного интеллекта. Это включало информацию о наличии инсульта (ASPECTS 9 и ниже) или его отсутствии (ASPECTS 10), а также стороне поражения. Врачи имели возможность согласиться с решением искусственного интеллекта или оставить свое исходное решение без изменений.

Второй этап исследования проводился через 2 мес с измененным порядком ранее предоставленных КТ-исследований. Экспертам сразу сообщались результаты оценки искусственного интеллекта, включая наличие инсульта (ASPECTS 9 и ниже) или его отсутствие (ASPECTS 10), а также сторону поражения. После получения результатов врачи могли либо согласиться с решением искусственного интеллекта, либо предложить свой собственный вариант интерпретации.

Все оценки были объединены независимым исследователем в общую таблицу для дальнейшей статистической обработки результатов.

В ходе статистического анализа использовались методы описательной статистики. Анализ был выполнен с помощью программы SPSS Statistics 19 и языка программирования Python.

На основе результатов оценки были рассчитаны следующие параметры: чувствительность, спе-

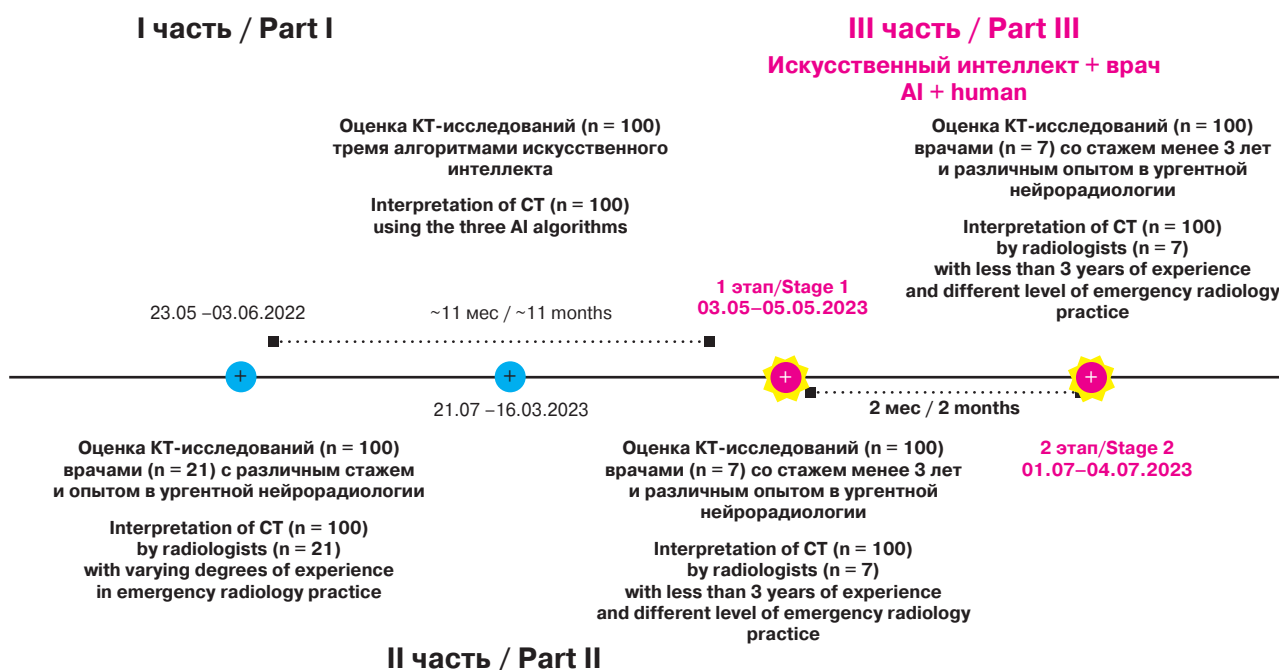
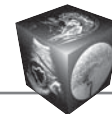


Рис. 2. Временная линия проводимых экспериментов с графическим описанием представленной в статье III части исследования и ее этапов (применение моделей второго и параллельного чтения).

Fig. 2. Timeline of conducted experiments, with a graphical description of the presented III part of the study and its stages (application of second and parallel reading models).

цифичность и точность для оценки наличия или отсутствия ОНМК в бассейне средней мозговой артерии [6].

Результаты и их обсуждение

Результаты первого этапа совместной оценки КТ-изображений головного мозга врачами со стажем менее трех лет и алгоритмом искусственного интеллекта представлены в табл. 1.

На первом этапе исследования общие значения диагностической эффективности (точность, специфичность) среди врачей РСЦ снизились. Это произошло в большей степени из-за снижения специфичности (с 81,5 до 79,5%) и увеличения количества ложноположительных ответов (с 9,25 до 10,25), что привело к увеличению гипердиагностики в этой группе экспертов. Однако в группе специалистов без опыта в РСЦ было отмечено улучшение показателей диагностической эффективности на первом этапе. В основном это было обусловлено увеличением чувствительности (с 67,3 до 92,6%) и сокращением ложноотрицательных ответов (с 6,3 до 3,6), что свидетельствует о снижении уровня гиподиагностики.

Таким образом, данные результаты указывают на положительное влияние искусственного интеллекта на диагностическую эффективность

врачей без опыта при использовании модели второго чтения.

Результаты второго этапа совместной оценки базы КТ-изображений головного мозга врачами со стажем менее 3 лет и алгоритмом искусственного интеллекта представлены в табл. 2.

Альтернативно первому этапу исследования на втором средние показатели диагностической эффективности (точность, чувствительность и специфичность) врачей РСЦ увеличились в большей степени за счет точности (с 90,2 до 94,25%) и специфичности (с 81,5 до 89%) с сокращением числа ложноположительных (с 18,6 до 9) и ложноотрицательных (с 6,3 до 2) ответов, со снижением уровня гипо- и гипердиагностики. Подобная тенденция наблюдалась также среди специалистов без опыта работы в РСЦ. Отмечалась выраженная положительная динамика средних значений эффективности с нарастанием значений чувствительности (с 67,3% до 96%), специфичности (с 62,6% до 82%) и точности (с 75% до 89%) с сокращением числа ложноположительных (с 18,6 до 9) и ложноотрицательных (с 6,3 до 2) ответов. Результаты второго этапа исследования свидетельствуют об улучшении интерпретации КТ-изображений среди наблюдений с подозрением на ОНМК как среди врачей с опытом в РСЦ,



Таблица 1. Средние показатели диагностической эффективности врачей с различным опытом в ургентной нейрорадиологии и стажем менее трех лет на первом этапе исследования

Table 1. Average diagnostic performance indicators of doctors with different experience in urgent neuroradiology and less than 3 years of experience at stage 1 of the study

	ИП TP	ЛП FP	ЛО FN	ИО TN	Чувствитель- ность, % Sensitivity, %	Специфич- ность, % Specificity, %	Точность, % Accuracy, %
Программа Program	44	27	6	23	88.0	46.0	67.0
Специалисты РСЦ RVC radiologists							
до before	49.5 ± 0.6	9.3 ± 2.5	0.5 ± 0.6	40.8 ± 2.5	99.0 ± 1.2	81.5 ± 5.0	90.3 ± 2.6
1-й этап Stage 1	49.8 ± 0.5	10.3 ± 2.8	0.3 ± 0.5	39.8 ± 2.8	99.5 ± 1.0	79.5 ± 5.5	89.5 ± 3.0
Специалисты без опыта в РСЦ Radiologists without experience in RVC							
до before	43.(6) ± 6.7	18.(6) ± 11.6	6.(3) ± 6.7	31.(3) ± 11.6	67.(3) ± 13.3	62.(6) ± 23.2	75.0 ± 12.2
1-й этап Stage 1	46.(3) ± 4.6	17.(3) ± 10.5	3.(6) ± 4.6	32.(6) ± 10.5	92.(6) ± 9.2	65.(3) ± 21.0	79.0 ± 11.4

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: ИП – истинно положительные, ЛП – ложноположительные, ИО – истинно отрицательные, ЛО – ложноотрицательные.

Note. TP – true positives, FP – false positive, FN – false negatives, TN – true negatives.

Таблица 2. Средние показатели диагностической эффективности врачей с различным опытом в ургентной нейрорадиологии и стажем менее трех лет на втором этапе исследования

Table 2. Average diagnostic performance indicators of doctors with different experience in urgent neuroradiology and less than 3 years of experience at stage 2 of the study

	ИП TP	ЛП FP	ЛО FN	ИО TN	Чувствитель- ность, % Sensitivity, %	Специфич- ность, % Specificity, %	Точность, % Accuracy, %
Программа Program	44	27	6	23	88.0	46.0	67.0
Специалисты РСЦ RVC radiologists							
до before	49.5 ± 0.6	9.3 ± 2.5	0.5 ± 0.6	40.8 ± 2.5	99.0 ± 1.2	81.5 ± 5.0	90.3 ± 2.6
2-й этап Stage 2	49.8 ± 0.5	5.5 ± 1.3	0.3 ± 0.5	44.5 ± 1.3	99.5 ± 1.0	89.0 ± 2.6	94.3 ± 1.7
Специалисты без опыта в РСЦ Radiologists without experience in RVC							
до before	43.(6) ± 6.7	18.(6) ± 11.6	6.(3) ± 6.7	31.(3) ± 11.6	67.(3) ± 13.3	62.(6) ± 23.2	75.0 ± 12.2
2-й этап Stage 2	48.0 ± 0.0	9.0 ± 6.6	2.0 ± 0.0	41.0 ± 6.6	96.0 ± 0.0	82.0 ± 13.1	89.0 ± 6.6

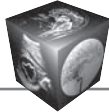


Таблица 3. Сравнительная характеристика средних показателей эффективности врачей с различным опытом в ургентной нейрорадиологии и стажем менее трех лет на первом и втором этапе исследования

Table 3. Comparative characteristics of the average performance indicators of doctors with different experience in urgent neuroradiology and less than 3 years of experience at stages 1 and 2 of the study

	ИП TP	ЛП FP	ЛО FN	ИО TN	Чувствитель- ность, % Sensitivity, %	Специфич- ность, % Specificity, %	Точность, % Accuracy, %
Программа Program	44	27	6	23	88.0	46.0	67.0
Специалисты РСЦ RVC radiologists							
до before	49.8 ± 0.5	10.3 ± 2.8	0.3 ± 0.5	39.8 ± 2.8	99.5 ± 1.0	79.5 ± 5.5	89.5 ± 3
2-й этап Stage 2	49.8 ± 0.5	5.5 ± 1.3	0.3 ± 0.5	44.5 ± 1.3	99.5 ± 1.0	89.0 ± 2.6	94.3 ± 1.7
Специалисты без опыта в РСЦ Radiologists without experience in RVC							
до before	46.(3) ± 4.6	17.(3) ± 10.5	3.(6) ± 4.6	32.(6) ± 10.5	92.(6) ± 9.2	65.(3) ± 21.0	79.0 ± 11.4
2-й этап Stage 2	48.0 ± 0.0	9.0 ± 6.6	2.0 ± 0.0	41.0 ± 6.6	96.0 ± 0.0	82.0 ± 13.1	89.0 ± 6.6

так и без него при применении модели параллельного чтения. Сравнительная характеристика показателей эффективности врачей с опытом и без в РСЦ на первом и втором этапах исследования представлена в табл. 3.

Также применение системы автоматического анализа позволило исправить двойную ошибку (неправильное определение ОНМК в контралатеральном полушарии) в одном случае у первого рентгенолога из группы с опытом работы в РСЦ, в одном случае у двух рентгенологов и в двух исследованиях у одного из рентгенологов из группы без опыта работы в РСЦ.

Результаты первого и второго этапов исследования позволяют судить о более эффективном варианте внедрения искусственного интеллекта при использовании модели параллельного чтения.

В нашем ранее опубликованном исследовании [7] были оценены показатели диагностической эффективности у врачей ургентной нейрорадиологии с различным стажем работы. Также был изучен уровень их согласия относительно КТ-признаков ишемического инсульта.

В результате исследования была выявлена прямая зависимость между стажем работы в РСЦ врачей ургентной нейрорадиологии и диагностической эффективностью. Врачи со стажем более 8 лет показали наивысшую точность диагностики,

а врачи со стажем менее 3 лет – наименьшую точность. Это подчеркнуло важность опыта и стажа работы врачей при проведении диагностических процедур, особенно в области ургентной нейрорадиологии. Однако в реалиях неотложной медицинской помощи существует запрос на немедленное увеличение уровня диагностической эффективности врачей с небольшим опытом, со снижением риска пропуска ими ургентной патологии. Поэтому в настоящем исследовании приняли участие врачи со стажем менее 3 лет для оценки возможности повышения их компетенции при применении системы автоматического анализа.

Между экспериментами прошло 11 мес, при предыдущем тестировании [7] врачам не сообщались правильные ответы. Средние показатели чувствительности между специалистами из РСЦ повысились с 84,00 до 99,00%, точности с 88,30 до 90,25% (и стали сопоставимы с результатами врачей со стажем от 3 до 8 лет внутри группы врачей с опытом работы в РСЦ), показатели специфичности снизились с 92,50 до 81,50%. Средние показатели диагностической эффективности врачей без опыта работы в РСЦ также изменились за счет специфичности (с 92,7 до 65,(3)%) и чувствительности (с 57,3 до 92,(6)%), точность осталась прежней (0,75%).

Результаты нашего исследования свидетельствуют о повышении средних показателей диагно-



стической эффективности среди врачей из РСЦ со стажем работы менее 3 лет при применении модели параллельного чтения согласно N.A. Obuchowski и J.A. Bullen. [3] до сопоставимых значений с результатами врачей с экспертной квалификацией за счет точности (94,25% против 93,80%) и чувствительности (99,50% против 90,50%).

Также было выявлено, что, несмотря на повышение диагностической эффективности при применении модели второго чтения, результаты тестирования врачей без опыта работы в РСЦ ниже результатов врачей из РСЦ как в предыдущем, так и в текущем исследовании. Однако при внедрении алгоритма искусственного интеллекта с помощью модели параллельного чтения показатели диагностической эффективности становятся аналогичны результатам врачей из РСЦ с опытом менее трех лет из предыдущего исследования с превышением значений точности (89,0% против 88,3%) и чувствительности (96,0% против 84,0%).

Результаты настоящего исследования подтверждают гипотезу о положительном эффекте внедрения систем на основе искусственного интеллекта в диагностический процесс молодого специалиста. В целом использование модели параллельного чтения при внедрении искусственного интеллекта в диагностические процессы рентгенологов со стажем до 3 лет может быть полезным для улучшения их способности интерпретировать КТ-изображения пациентов с подозрением на наличие ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии. Также в статье представлен первый этап подтверждения гипотезы о необходимости выбора модели комплементарной оценки для увеличения показателей диагностической эффективности врачей со стажем до трех лет. Для полноценной оценки точности данных гипотез необходимы дальнейшие исследования с более глобальными выборками данных, а также количеством задействованных специалистов.

С учетом наличия малочисленных и противоречивых данных о результатах внедрения моделей комплементарной оценки [8, 9] важно принять во внимание не только оценку точности программных продуктов, но и возможные варианты их внедрения при клинической валидации [10].

Это означает, что, помимо оценки точности моделей, необходимо учитывать контекст и специфику клинической практики, чтобы определить, как эти системы могут быть наиболее полезными и эффективными в реальной среде здравоохранения.

Вместо простого оценивания точности программных продуктов следует также рассмотреть факторы, такие как потенциальные преимущества внедрения, возможные ограничения или пробле-

мы, а также взаимодействие с медицинскими процессами и персоналом.

Такой подход поможет более полно и комплексно оценить эффективность систем автоматического анализа в клинической практике.

Выводы

1. Применение модели параллельного чтения при внедрении искусственного интеллекта в диагностический процесс рентгенологов со стажем до трех лет позволяет им улучшить свою способность интерпретировать КТ-изображения пациентов с подозрением на наличие ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии

2. Применение модели второго чтения в процессе принятия решений специалистов из РСЦ со стажем менее трех лет снижает их показатели диагностической эффективности.

3. Результаты текущего исследования являются первым этапом проверки гипотезы о положительном влиянии искусственного интеллекта на диагностический процесс врачей-рентгенологов. Для более точных результатов необходимы более глобальные выборки КТ-изображений и участие большего количества специалистов.

4. При внедрении систем автоматического анализа в клиническую практику необходимо проверять не только их точность и диагностическую эффективность, но и определять наиболее целесообразную модель комплементарной оценки.

Участие авторов

Андропова П.Л. – концепция и дизайн исследования; проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, сбор и обработка данных, написание текста.

Колесникова П.А. – анализ и интерпретация полученных данных; обработка данных, участие в научном дизайне, статистическая обработка данных.

Гаврилов П.В. – анализ и интерпретация полученных данных; сбор и обработка данных, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Кокорев О.В. – анализ и интерпретация полученных данных; участие в научном дизайне.

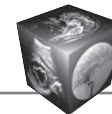
Чернова Е.В. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Курносенко О.А. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Галустян Д.Х. – участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Бойцова М.Г. – участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Трофимова Т.Н. – концепция и дизайн исследования; утверждение окончательного варианта статьи.



Authors' participation

Andropova P.L. – concept and design of the study; conducting research, analyzing and interpreting the data obtained, collecting and processing data, writing the text.

Kolesnikova P.A. – analysis and interpretation of the obtained data; data processing, participation in scientific design, statistical data processing.

Gavrilov P.V. – analysis and interpretation of the obtained data; collection and processing of data, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Kokorev O.V. – analysis and interpretation of the obtained data; participation in scientific design.

Chernova E.V. – analysis and interpretation of the data obtained, participation in scientific design.

Kurnosenko O.A. – analysis and interpretation of the data obtained, participation in scientific design.

Galustyan D.Kh. – participation in scientific design, preparation, creation of published work.

Boytsova M.G. – participation in scientific design, preparation, creation of published work.

Trofimova T.N. – concept and design of the study; approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490 “О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации”. (2019). Официальный портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата доступа: 20 января 2024).
2. Морозов С.П., Владимирский А.В., Кляшторный В.Г., Андрейченко А.Е., Кульберг Н.С., Гомболевский В.А. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика). М.: Серия Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики. Вып. 23. 2019. 34 с.
3. Obuchowski N.A., Bullen J.A. Statistical considerations for testing an AI algorithm used for prescreening lung CT images. *Contemp Clin Trials Commun.* 2019; 16: 100434. <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2019.100434>. Erratum in: *Contemp Clin Trials Commun.* 2020 Dec 10; 20: 100689. PMID: 31485545; PMCID: PMC6717063
4. Смольникова У.А. Возможности систем автоматического анализа цифровых рентгенологических изображений в диагностике округлых образований в легких: специальность 31.25.00: дис. ... канд. мед. наук. М., 2022. 281 с.
5. Андропова П.Л., Гаврилов П.В., Колесникова П.А., Кушнер А.В., Владимирский А.В., Васильев Ю.А., Трофимова Т.Н. Диагностическая эффективность отдельных систем автоматического анализа КТ-изображений в выявлении ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.* 2023; 39 (3): 194–200. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-194-200>
6. Kumar R., Indrayan A. Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian Pediatr.* 2011; 48 (4): 277–287. <https://doi.org/10.1007/s13312-011-0055-4>
7. Андропова П.Л., Гаврилов П.В., Казанцева И.П., Домиенко О.М., Наркевич А.Н., Колесникова П.А., Гребенкина Е.К., Тарасов Н.В., Сергеева Т.В., Трофимова Т.Н. Оценка межэкспертной согласованности врачей-рентгенологов в диагностике ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии с помощью компьютерной томографии. *Медицинская визуализация.* 2023; 27 (4): 159–169. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1315>
8. Najjar R. Redefining Radiology: A Review of Artificial Intelligence Integration in Medical Imaging. *Diagnostics.* 2023; 13 (17): 2760. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13172760>
9. Anderson T., Torreggiani W.C., Munk P.L., Mallinson P.I. The impact of the introduction of artificial intelligence in radiology and its potential legal implications in the UK and Ireland. *BJR Open.* 2020; 2 (1): 20200030. <https://doi.org/10.1259/bjro.20200030>
10. Miller R.A. Medical diagnostic decision support systems - past, present, and future: a threaded bibliography and brief commentary. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 1994; 1: 8–27. <https://doi.org/10.1136/jamia.1994.95236141>

References

1. Decree of the President of the Russian Federation dated October 10, 2019 No.490 “On the development of artificial intelligence in the Russian Federation”(together with the “National Strategy for the Development of Artificial Intelligence for the period until 2030”). URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/. Accessdate:03/15/2022 (In Russian)
2. Morozov S.P., Vladzmyrskyy A.V., Klyashtorny V.G. et al. Clinical acceptance of software based on artificial intelligence technologies (radiology). Moscow, Series “Best practices in medical imaging”. Issue 23. 2019. 34 p. (In Russian)
3. Obuchowski N.A., Bullen J.A. Statistical considerations for testing an AI algorithm used for prescreening lung CT images. *Contemp Clin Trials Commun.* 2019; 16: 100434. <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2019.100434>. Erratum in: *Contemp Clin Trials Commun.* 2020 Dec 10; 20: 100689. PMID: 31485545; PMCID: PMC6717063
4. Smolnikova U.A. Possibilities of automated analysis of digital X-rays in diagnosing pulmonary nodules and masses: Scientific specialty 3.1.25. Diagnostic radiology. Dissertation submitted for the degree of candidate of medical sciences / Smolnikova Uliana Alekseevna, 2022. 281 p. (In Russian)
5. Andropova P.L., Gavrilov P.V., Kolesnikova P.A. et al. Diagnostic efficiency of individual systems for automatic analysis of computed tomography images in the detection of ischemic stroke in the basin of the middle cerebral artery. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine.* 2023; 38 (3): 194–200. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-194-200> (In Russian)
6. Kumar R., Indrayan A. Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian Pediatr.* 2011; 48 (4): 277–287. <https://doi.org/10.1007/s13312-011-0055-4>
7. Andropova P.L., Gavrilov P.V., Kazantseva I.P. et al. Interexpert agreement between neuroradiologists in the diagnosis of middle cerebral artery stroke by computed



- tomography. *Medical Visualization*. 2023; 27 (4): 159–169. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1315> (In Russian)
8. Najjar R. Redefining Radiology: A Review of Artificial Intelligence Integration in Medical Imaging. *Diagnostics*. 2023; 13 (17): 2760. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13172760>
9. Anderson T., Torreggiani W.C., Munk P.L., Mallinson P.I. The impact of the introduction of artificial intelligence in radiology and its potential legal implications in the UK and Ireland. *BJR Open*. 2020; 2 (1): 20200030. <https://doi.org/10.1259/bjro.20200030>
10. Miller R.A. Medical diagnostic decision support systems - past, present, and future: a threaded bibliography and brief commentary. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 1994; 1: 8–27. <https://doi.org/10.1136/jamia.1994.95236141>

Для корреспонденции*: Андропова Полина Леонидовна – e-mail: polin.kira@mail.ru

Андропова Полина Леонидовна – врач КТ-кабинета рентгеновского отделения ГБУЗ “Елизаветинская больница”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/org/0000-0002-0416-493X>. E-mail: polin.and@icloud.com

Колесникова Полина Алексеевна – аспирант ФГБУН “Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля” Российской академии наук, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2406-6349>. E-mail: larionova_pa@gkl-kemerovo.ru

Гаврилов Павел Владимирович – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления “лучевая диагностика” ФГБУ “Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-3251-4084>. E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

Кокорев Олег Васильевич – медицинский советник Департамента компьютерной томографии, Россия и СНГ ООО “ДжиИ Хэслкеа”, Москва. <https://orcid.org/0009-0000-5495-3403>. E-mail: oleg.kokorev@ge.com

Чернова Елена Валерьевна – врач-рентгенолог отделения компьютерной томографии ГБУЗ “Елизаветинская больница”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0003-1451-0773>. E-mail: Le-nika@yandex.ru

Курносенко Олеся Александровна – врач-рентгенолог отделения компьютерной томографии ГБУЗ “Елизаветинская больница”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0003-9495-4189>. E-mail: olesia.hok@mail.ru

Галустян Диана Хачиковна – врач-рентгенолог отделения компьютерной томографии ГБУЗ “Елизаветинская больница”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0003-5990-1954>. E-mail: Galustyandkh@yandex.ru

Бойцова Марина Геннадьевна – канд. мед. наук, доцент, кафедра лучевой диагностики Медицинского института Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-6244-975X>. E-mail: mgboitsova@mail.ru

Трофимова Татьяна Николаевна – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике СЗФО РФ и Комитета по здравоохранению Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. E-mail: TTrofimova@sogaz-clinic.ru

Contact*: Polina L. Andropova – e-mail: polin.kira@mail.ru

Polina L. Andropova – radiologist of the X-ray department of the St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth, St. Petersburg. <https://orcid.org/org/0000-0002-0416-493X>. E-mail: polin.and@icloud.com

Polina A. Kolesnikova – postgraduate (PhD) student of the Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2406-6349>. E-mail: larionova_pa@gkl-kemerovo.ru

Pavel V. Gavrilov – Cand. of Sci. (Med.), leading Researcher, Head of the Department of Radiology Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-3251-4084>. E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

Oleg V. Kokorev – Zone Clinical Leader, CT Russia and CIS, GE HealthCare, Moscow; <https://orcid.org/0009-0000-5495-3403>. E-mail: oleg.kokorev@ge.com

Elena V. Chernova – radiologist of the X-ray department of the St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth, St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0003-1451-0773>. E-mail: Le-nika@yandex.ru

Olesya A. Kurnosenko – radiologist of the X-ray department of the St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth, St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0003-9495-4189>. E-mail: olesia.hok@mail.ru

Diana H. Galustyan – radiologist of the X-ray department of the St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth, St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0003-5990-1954>. E-mail: Galustyandkh@yandex.ru

Marina G. Boytsova – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Radiation Diagnostics, Medical Institute of St. Petersburg State University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-6244-975X>. E-mail: mgboitsova@mail.ru

Tatiana N. Trofimova – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Freelance Specialist in Radiology and Instrumental Diagnostics of the Northwestern Federal District of the Russian Federation and the Committee for Health, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. E-mail: TTrofimova@sogaz-clinic.ru