

УДК: 616.24-002-07

DOI: 10.24884/1682-6655-2023-22-1-16-23

Ю. А. ЛЫСКОВА, А. А. СПЕРАНСКАЯ,
В. П. ЗОЛОТНИЦКАЯ, Н. П. ОСИПОВ, О. В. АМОСОВА

Программы искусственного интеллекта лучевой диагностики в оценке нарушения кровообращения при внебольничной пневмонии до и во время пандемии COVID-19

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8
E-mail: zolotnitskaja68@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 12.01.23 г.; принята к печати 24.02.23 г.

Резюме

Введение. Пандемия COVID-19 вызвала не только всплеск вирусной пневмонии, но и открыла новые возможности в области лучевой диагностики. Одним из условных «плюсов» явилось проведение количественной оценки поражения паренхимы и микроциркуляции в легких при COVID-19 с использованием программы искусственного интеллекта (ИИ). **Цель** – оценить возможности программ ИИ в определении степени выраженности поствоспалительных анатомических и микроциркуляторных нарушений при КТ и ОФЭКТ у пациентов с внебольничной пневмонией. **Материалы и методы.** Проанализированы проспективные и ретроспективные данные лучевых исследований 187 пациентов, наблюдавшихся с диагнозом внебольничная пневмония с 2006 г. по 2022 г. в клиниках ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова. Срок наблюдения составлял от 3 месяцев до 8 лет. Средний возраст больных составлял 34,3±9,2 года (ж/м – 107/80). Всем пациентам были выполнены КТ, комплексное функциональное исследование внешнего дыхания (КФИВД), ОФЭКТ. **Результаты.** Основные формы внебольничной пневмонии до пандемии COVID-19 характеризовались проявлениями экссудативного бронхоолита/бронхопневмонии, инфекционного вирусного альвеолита и плевропневмонии. Первые две формы инфекционного альвеолярного поражения в отличие от плевропневмонии оставляли после себя нарушения микроциркуляции. Проявления COVID-19 поражения легких характеризовались стадийностью, в основе которой лежали морфологические изменения: отек, ретикуляция (нарастание выраженности отека, клеточная инфильтрация, внутриальвеолярный фибрин), организация=консолидация (клеточная инфильтрация, внутриальвеолярный фибрин, пролиферация фибробластов). Остаточные анатомические изменения сопровождалась клинической симптоматикой (одышка разной степени выраженности, сухой кашель, слабость, интоксикация). **Заключение.** Для оценки степени выраженности поствоспалительных анатомических и микроциркуляторных нарушений рационально применять программы искусственного интеллекта постпроцессорной обработки изображения при КТ и ОФЭКТ. Накопление опыта лучевого обследования больных внебольничной пневмонией с использованием программ искусственного интеллекта позволяет количественно оценить остаточные анатомические и микроциркуляторные изменения, что важно для тактики лечения.

Ключевые слова: внебольничная пневмония, COVID-19 поражение легких, постковидные изменения в легких, нарушение микроциркуляции, компьютерная томография, ОФЭКТ

Для цитирования: Лыскова Ю. А., Сперанская А. А., Золотницкая В. П., Осипов Н. П., Амосова О. В. Программы искусственного интеллекта лучевой диагностики в оценке нарушения кровообращения при внебольничной пневмонии до и во время пандемии COVID-19. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2023;22(1):16–23. Doi: 10.24884/1682-6655-2023-22-1-16-23.

UDC 616.24-002-07

DOI: 10.24884/1682-6655-2023-22-1-16-23

Yu. A. LYSKOVA, A. A. SPERANSKAYA,
V. P. ZOLOTNITSKAYA, N. P. OSIPOV, O. V. AMOSOVA

Artificial intelligence in radiodiagnosis assessment of circulatory disorders in cases of community-acquired pneumonia before and in the COVID-19 pandemic

Pavlov University, Saint Petersburg, Russia
6-8, L'va Tolstogo street, Saint Petersburg, Russia, 197022
E-mail: zolotnitskaja68@yandex.ru

Received 12.01.23; accepted 24.02.23

Summary

Introduction. The COVID-19 pandemic not only caused a surge of viral pneumonia patients, but also opened up new opportunities in the field of radiology. One of the conditional «pluses» was the quantitative damage assessment of the lung parenchyma and microcirculation in COVID-19 using an artificial intelligence program. **Objective.** To evaluate the AI capabilities to

detect the severity of anatomical and microcirculatory post-inflammatory disorders by CT and SPECT of pneumonic patients data. *Materials and Methods.* We analyzed prospective and retrospective data obtained by radiological studies of 187 patients with community-acquired pneumonia from 2006 to 2022 in the clinics of the St. Petersburg State Medical University named after acad. I.P. Pavlov. The follow-up period varied from 3 months to 8 years. The mean age of the patients was 34.3 ± 9.2 years (w/m – 107/80). All patients underwent CT scan, a comprehensive functional examination of external respiration (KFIVD), SPECT. *Results.* The community-acquired pneumonia before the COVID-19 pandemic was generally characterized by signs of exudative bronchiolitis/bronchopneumonia, infectious viral alveolitis and pleuropneumonia. The first two forms in contrast to pleuropneumonia were associated with microcirculation disturbances. Signs of lung damage in COVID-19 had staging pattern based on morphological changes: edema, reticulation (increased severity of edema, cellular infiltration, intraalveolar fibrin), organization=consolidation (cellular infiltration, intraalveolar fibrin, fibroblast proliferation). Residual anatomical changes were accompanied by clinical symptoms (shortness of breath of varying severity, dry cough, weakness, intoxication). *Conclusions.* Using the artificial intelligence for post-processor CT and SPECT image processing seems to be relevant to assess the post-inflammatory anatomical and microcirculatory disorders severity. Experience accumulation in combined AI and radiological study of patients with community-acquired pneumonia is capable to quantify residual anatomical and microcirculatory changes and useful for treatment tactics.

Key words: community-acquired pneumonia, COVID-19 lung injury, post-COVID changes in the lungs, microcirculation disorders, computed tomography, SPECT

For citation: Lyskova Yu. A., Speranskaya A. A., Zolotnitskaya V. P., Osipov N. P., Amosova O. V. Artificial intelligence in radiodiagnosis assessment of circulatory disorders in cases of community-acquired pneumonia before and in the COVID-19 pandemic. *Regional hemodynamics and microcirculation.* 2022;21(4):16–23. Doi: 10.24884/1682-6655-2022-21-4-16-23.

Введение

Пневмония – группа различных по этиологии, патогенезу и морфологической картине острых инфекционных заболеваний преимущественно неспецифической бактериальной этиологии, которые характеризуются поражением респираторных отделов легких с внутриальвеолярной экссудацией, выявляемой физикально и подтвержденной рентгенологически [1].

По классификации А. Г. Чучалина [2] они делятся на внебольничные пневмонии (в том числе и атипичные), внутрибольничные (нозокомиальные) пневмонии (возникшие после 48 часов пребывания в стационаре), аспирационные пневмонии и пневмонии у лиц с иммунодефицитом (врожденным или приобретенным).

Внебольничная пневмония – это инфекционный процесс в легочной ткани, развивающийся у первично здоровых людей. Основные формы внебольничной пневмонии до пандемии COVID-19 характеризовались проявлениями экссудативного бронхиолита/бронхопневмонии, инфекционного альвеолита (гриппозное и парагриппозное поражение, сходное с проявлениями COVID-19) и плевропневмонии. Первые две формы инфекционного альвеолярного поражения имели а priori диссеминированный характер (бронхогенный при бронхиолите, гематогенный при альвеолите) и в отличие от плевропневмонии оставляли после себя нарушения микроциркуляции стойкого или регрессирующего характера [3].

Пандемия COVID-19 вызвала не только всплеск вирусной пневмонии, но и открыла новые возможности, в том числе в области лучевой диагностики. Одним из условных «плюсов» этого трагичного события явилось проведение не только качественной, но и количественной оценки поражения легких при COVID-19. Предлагались различные варианты подсчета объема поражения легочной ткани для оценки степени тяжести процесса. Были предложены разнообразные системы балльных оценок с подсчетом объема поражения по долям и сегментам, а также по

компьютерно-томографическим признакам [4]. Однако наиболее достоверной, быстрой и комфортной для исследователя методикой явилось использование программы искусственного интеллекта «маски плотности» (THORACIC VCAR, PARENCHIMA ANALYSIS, GE), с цветным картированием вычлененных плотностных показателей в промежутке от – 200 HU до – 730 HU, куда входят КТ-проявления «матового стекла» и ретикуляции (основных лучевых паттернов при COVID-19, ОсИП, НсИП, ОИП), что позволяет точно определить степень распространенности процесса [5, 6]. Использование компьютерной программы «Анализатор изображений перфузионной сцинтиграфии легких (LungScintAnalyser)» для количественной оценки изменений микроциркуляции (степень изменения кровотока в % к норме) [7] также стало применяться в повседневной практике, а не только в научных целях [8].

Проявления COVID-19 поражения легких характеризовались стадийностью, в основе которой лежали морфологические изменения: «матовое стекло» (отек), ретикуляция (нарастание выраженности отека, клеточная инфильтрация, внутриальвеолярный фибрин), организация=консолидация (клеточная инфильтрация, внутриальвеолярный фибрин, пролиферация фибробластов). Регресс изменений проходил в обратном направлении и характеризовался переходом консолидации в ретикуляцию (частичное разрешение), затем в «матовое стекло», которое у большинства пациентов полностью регрессировало, но у части сохранялось в небольшом объеме (остаточная инфильтрация, формирование фиброзных изменений, персистенция) [9–12]. Остаточные анатомические изменения сопровождалась клинической симптоматикой (сохранение одышки разной степени выраженности, сухого кашля, слабости, хронической интоксикации), что можно объяснить нарушением микроциркуляции, выявляемым при ОФЭКТ [13].

Большое число проведенных КТ-исследований во время пандемии COVID-19 доказало значимость точного подсчета объема поражения легочной ткани с

Лучевые симптомы при разных формах пневмонии

Radiation symptoms in various forms of pneumonia

Симптом	Плевропневмония (n=18), Число/%	Бронхопневмония (n=37), Число/%	Инфекционный альвеолит (n=18) (грипп А, грипп В, парагрипп), Чис- ло/%	COVID-19 поражение легких (n=114), Число/%
Инфильтрация альвеолярного характера, соответствующая сегментарному строению	18/100	0/0	7/38,8	34/29,8
«Матовое стекло»	18/100	21/ 56,7	17/100	114/100
Ретикулярные изменения (симптом «булыжной мостовой»)	1/5,5	2/5,4	15/88,2	114/100
Невоспалительная консолидация (гиповентиляция, ателектаз, дисковидный ателектаз)	8/44,4	7/0	9/52,9	95/83,3
Полости	0/0	0/0	4/22,2	18/15,7
Остаточные бронхо-бронхиолоэктазы	3/16,6	7/18,9	10/58,8	23/20,1
Проявления бронхиальной обструкции: неравномерность вентиляции, «воздушные ловушки»	3/ 16,6	15/40,5	7/ 41,1	17/ 14,9
Перфузионные нарушения на ОФЭКТ	0/0	7/ 0	7/ 41,1	15/13,1

помощью программ ИИ. После пандемии, для оценки степени выраженности поствоспалительных анатомических и микроциркуляторных нарушений также рационально применять программы искусственного интеллекта постпроцессорной обработки изображений при КТ и ОФЭКТ.

Цель исследования – оценить возможности программ ИИ в определении степени выраженности поствоспалительных анатомических и микроциркуляторных нарушений при КТ и ОФЭКТ у пациентов с внебольничной пневмонией.

Материалы и методы исследования

Проанализированы проспективные и ретроспективные данные лучевых исследований 187 пациентов, наблюдавшихся с диагнозом «внебольничная пневмония» с 2006 г. по 2022 г. в клиниках ПСПбГМУ им. акад. И. П. Павлова (плевропневмония у 18 (9,6 %) больных, экссудативный бронхолит/бронхопневмония у 37 (19,7 %) больных, инфекционный альвеолит (грипп А, грипп В, парагрипп) у 18 (9,6 %) больных, COVID-19 поражения легких у 114 (60,9 %) больных). Критерием включения в работу больных с COVID-19 было подтвержденное с помощью полимеразной цепной реакции заболевание. Срок наблюдения составлял от 3 месяцев до 8 лет. Средний возраст больных составлял 34,3±9,2 года (ж/м – 107/80). Всем пациентам были выполнены КТ, комплексное функциональное исследование внешнего дыхания (КФВД), ОФЭКТ.

В анализ вошли пациенты, нуждающиеся в пульмонологической поддержке после перенесенной внебольничной пневмонии в связи с сохранением жалоб (на одышку разной степени выраженности, сухой кашель, снижение толерантности к физическим нагрузкам, интоксикационный синдром). Это заставило в рамках реабилитационных мероприятий провести углубленное лучевое обследование, включающее

КТ и ОФЭКТ. Анализировались результаты лабораторных исследований и комплексного исследования функции дыхания (КИФВД, DLCO). КТ проводили на 16-, 64-срезовых компьютерных томографах фирмы GE, оснащенных программным обеспечением – программой искусственного интеллекта «маски плотности» (THORACIC VCAR, PARENCHIMA ANALYSIS, GE). ОФЭКТ проводили на мультidetекторной гамма-камере Phillips Forte 2005 (США), в качестве радиофармпрепарата (РФП) применялся Макротех99mTc, производства ООО «Диамед», Россия. Обработку результатов исследования проводили с применением компьютерной программы «Анализатор изображений перфузионной сцинтиграфии легких (LungScintAnalyser)» (№ 2016618130 от 21.05.2016 г.). Лучевые методы диагностики применялись строго по показаниям и по назначению лечащего врача, также больными подписывалось информированное согласие на проведение исследования.

Статистический анализ. Обработка результатов исследования проводилась с использованием программы «Statistica-10». Характеристики обследованных групп были проанализированы методами описательной статистики и представлены как среднее арифметическое выборки – М, m – ошибка среднего. Анализ взаимосвязей между показателями проводили с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (rs), при rs>0,7 связь оценивалась как сильная, при rs от 0,3 до 0,7 – средней силы и как слабая при rs<0,3.

Результаты исследования и их обсуждение

План оценки лучевых изменений при внебольничной пневмонии на КТ и ОФЭКТ включал:

– анализ лучевых симптомов воспаления легочной ткани, выявленных при первичной КТ с определением объема поражения с помощью программ ИИ;

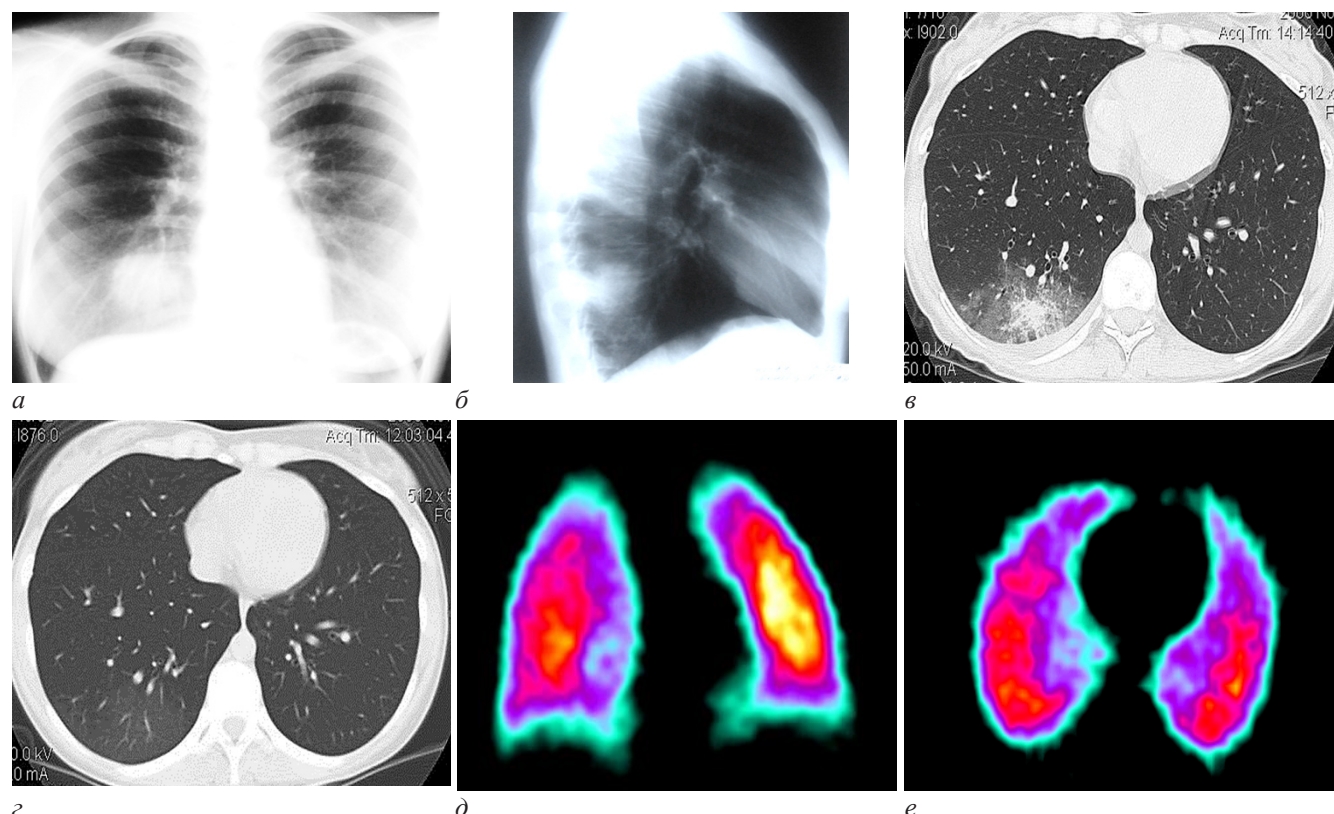


Рис. 1. Наблюдение больной К., 29 лет. Лучевая картина динамики плевропневмонии: а, б – первичная рентгенография органов грудной клетки в двух проекциях, в проекции нижней доли (S10) выявлено интенсивное затемнение, образование округлой формы, с видимыми просветами бронхов; в – КТ от 09.11.2006 г., в нижней доле правого легкого (S10) участок инфильтрации смешанного альвеолярного (в центре) – интерстициального (на периферии) характера. Просветы бронхов свободны (симптом «воздушной» бронхографии); г – субтотальный регресс на КТ от 16.11.2006 г.; д – ОФЭКТ от 12.11.2006 г., в проекции S10 правого легкого определяется дефект перфузии, близкий округлой форме; е – ОФЭКТ от 28.11.2006 г., положительная динамика, определяются умеренные диффузные нарушения микроциркуляции в проекции S10

Fig. 1. Observation of the patient K., 29 years old. Radiation image of the dynamics of pleuropneumonia: а, б – Primary X-ray of the chest in two projections, in the of the lower lobe (S10) projection an intense rounded darkening with visible lumen of the bronchi was revealed; в – CT-image of 09.11.2006, a mixed alveolar (in the center)-interstitial (on the periphery) infiltration site visualized in the lower lobe of the right lung (S10). Bronchial lumens are free (symptom of «air» bronchography); г – subtotal regression on CT from 16.11.2006; д – SPECT from 12.11.2006, S10 projection of the right lung, almost rounded area of perfusion defect is detected; е – SPECT from 27.11.2006, positive dynamics, moderate diffuse microcirculation disorders in the S10 projection are determined

– оценка степени их регресса с помощью программ ИИ на КТ на фоне терапии (выявление характера и объема остаточных изменений);

– определение с помощью программ ИИ на ОФЭКТ остаточных перфузионных нарушений в легких, их характера и распространенности.

При анализе результатов компьютерно-томографического исследования легких у пациентов с различными вариантами пневмоний были выявлены Rg-симптомы, характерные для каждого типа пневмонии, которые приведены в таблице.

Основные формы внебольничной пневмонии до пандемии COVID-19 характеризовались проявлениями экссудативного бронхоолита/бронхопневмонии, инфекционного вирусного альвеолита (сходного с проявлениями COVID-19) и плевропневмонии.

Проявления плевропневмонии были обнаружены у 18 (9,6 %) больных, характеризовались наличием инфильтрации смешанного альвеолярного (в центре) – интерстициального (на периферии) характера, соответствующей сегментарному строению легких. Отмечался симптом «воздушной» бронхографии, уменьшение объема пораженной части легкого (втянутость междолевой плевры), утолщение прилежащей плевры, отсутствие регионарной реактивной лимфаденопатии. В процессе динамического на-

блюдения отмечался полный регресс инфильтрации, отсутствие перфузионных изменений на ОФЭКТ (рис. 1).

Проявления экссудативного бронхоолита/бронхопневмонии были выявлены у 37 (19,7 %) больных, характеризовались при КТ признаками инфекционного поражения крупных и мелких бронхов (утолщение их стенок, наличие в их просвете мокроты, формирование симптома «дерева в почках»). Изменения могли иметь разную степень выраженности и протяженности, при переходе воспаления на окружающую легочную ткань отмечалось появление перибронхиальной альвеолярно-интерстициальной инфильтрации. Разрешение бронхопневмонии характеризовалось уменьшением интенсивности и последующим регрессом инфильтрации, однако сохранением нарушений микроциркуляции, в большей степени выраженных в верхних долях легких (характерные изменения кровотока при наличии бронхиальной обструкции), и обструктивных нарушений по данным ФВД в течение длительного времени (рис. 2). По данным ОФЭКТ легких определялось не только снижение микроциркуляции в верхних отделах легких, но, локальные дефекты перфузии субсегментарного уровня. При сопоставлении результатов ОФЭКТ и МСКТ отмечена высокая корреляция изменений

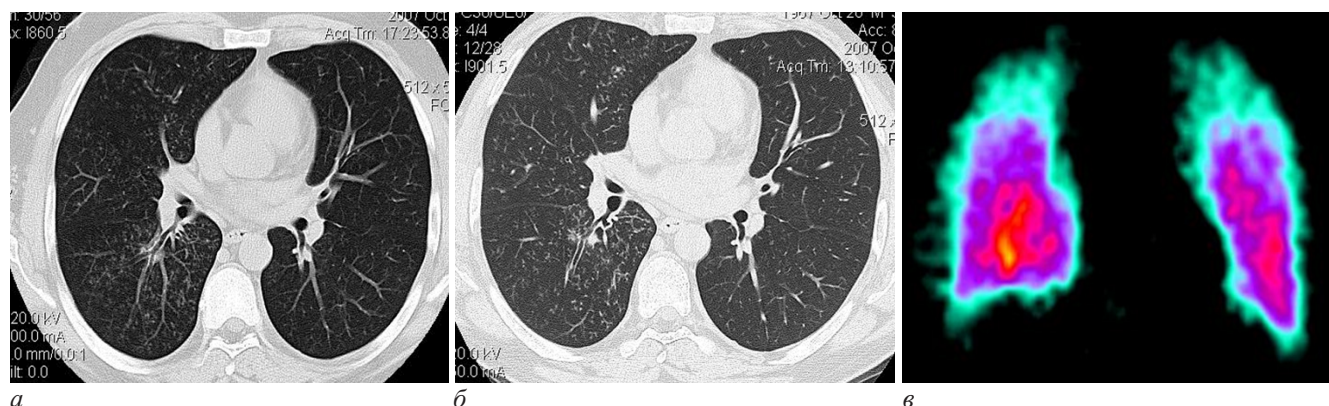


Рис. 2. Наблюдение больной А., 40 лет. Проявления экссудативного бронхиолита/бронхопневмонии: а – КТ, признаки инфекционного поражения крупных и мелких бронхов (утолщение их стенок, наличие в их просвете мокроты, формирование симптома «дерева в почках») в обоих легких, преимущественно справа; б – КТ в динамике, уменьшением интенсивности очагов затемнения; в – ОФЭКТ легких выявлены выраженные диффузные нарушения микроциркуляции, с преимущественным расположением в проекции верхних долей (признаки бронхиальной обструкции)

Fig. 2. Patient A., 40 years old. Signs of exudative bronchiolitis / bronchopneumonia: а – CT. Signs of an infectious lesion of large and small bronchi (thickening of the walls, the presence of sputum in the lumen, tree-in-bud pattern) in both lungs, mainly on the right; б – CT in dynamics. Focal areas of decreased opacity; в – SPECT imaging of the lungs revealed pronounced diffuse microcirculation disorders, with a predominant location in the projection of the upper lobes (signs of bronchial obstruction)

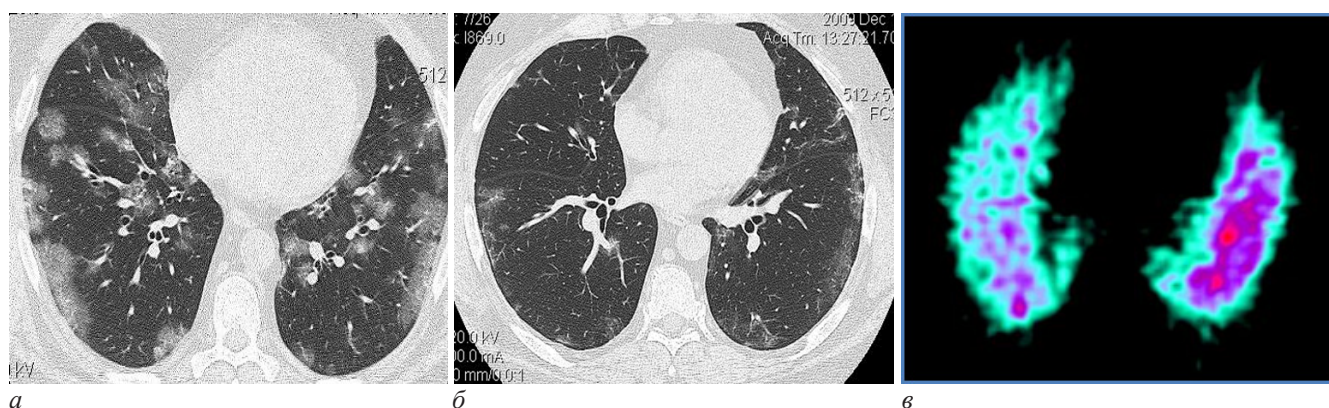


Рис. 3. Наблюдение больного Б., 1963 г. р. Лучевая картина динамики инфекционного альвеолита (грипп А, H1N1): а – МСКТ, выполненная в острую фазу заболевания. Определяются множественные участки затемнения по типу «матового стекла» в обоих легких; б – КТ в динамике через 4 недели. Выявлены остаточные изменения по типу «матового стекла», преимущественно субплеврального расположения; в – ОФЭКТ легких, выполненная через месяц от начала заболевания. Сохраняются выраженные диффузные нарушения перфузии и мелкие неправильной формы дефекты микроциркуляции в субплевральных отделах

Fig. 3. Patient B., born in 1963. Radiation image of the dynamics of infectious alveolitis (influenza A, H1N1): а – MSCT performed in the acute phase of the disease shows multiple areas of ground-glass opacity in both lungs; б – CT in 4 weeks. Residual ground-glass changes, predominantly subpleural, were revealed; в – Lung SPECT performed one month after the onset of the disease. Pronounced diffuse perfusion disorders and small irregularly shaped microcirculation defects in the subpleural regions persist

перфузии в верхних долях легких с наличием локальных участков вздутия ($r_s > 0,85$), утолщением стенок мелких бронхов ($r_s > 0,89$).

Проявления инфекционного альвеолита (грипп А, грипп В, парагрипп) были выявлены у 18 (9,6 %) больных и характеризовались наличием участков уплотнения по типу «матового стекла» (поражение отдельных вторичных легочных долек), ретикуляции, симптома «атолла». У 7 (38,8 %) пациентов отмечалось присоединение симптомов ОРДС, у 4 (22,2 %) – признаки септического поражения, у 2 (11,1 %) – ТЭЛА. Изменения кровотока в виде диффузно-неравномерного снижения микроциркуляции отмечались во всех участках легких, где были выявлены уплотнения по типу «матового стекла». Таким образом, остаточные проявления включали формирование минимальных интерстициальных изменений, перфузионных нарушений, пневматоцеле (рис. 3).

Проявления COVID-19 поражения легких были выявлены у 114 (60,9 %) больных, характеризовались

стадийностью поражения: «матовое стекло», ретикуляция, организация=консолидация, их поэтапный регресс.

Остаточные проявления включали формирование интерстициальных изменений (от минимальных до распространенных), перфузионных нарушений, пневматоцеле (рис. 4). Для COVID-19 поражения также была характерна коморбидность и поликоморбидность – у 27 (23,6 %) пациентов отмечалось присоединение симптомов ОРДС, у 10 (8,7 %) – признаки септического поражения, у 58 (50,8 %) – ТЭЛА и тромбоз *in situ*.

У пациентов было отмечено значимое снижение DLCO до $51,8 \pm 3,3$ %Д. При проведении ОФЭКТ легких были выявлены значительные нарушения микроциркуляции, причем эти изменения были количественно (в %) больше, чем при МСКТ (рис. 4, з, и). При КТ-обследовании пациентов в динамике через 1,5–2 года с использованием программы «Маска плотности» прирост изменений в паренхиме легких

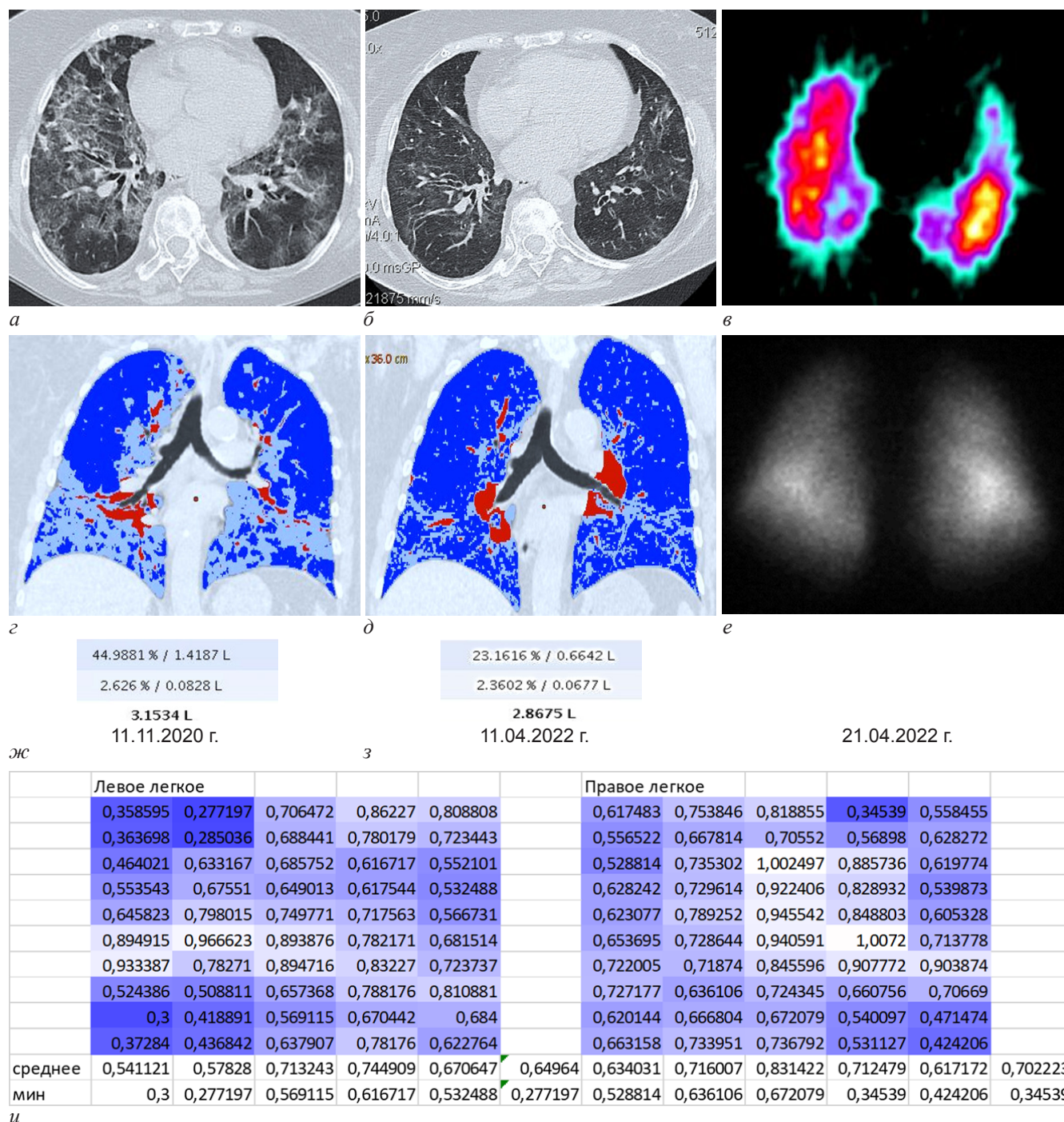


Рис. 4. Наблюдение больной Ф., 70 лет, с постковидным синдромом: а, в, ж – МСКТ и результаты компьютерного расчета поражения паренхимы легких, выполненные в острый период заболевания, на 12 день от начала заболевания. Определяются множественные фокусы консолидации, зоны «матового стекла», ретикулярные нарушения. Согласно визуальной эмпирической шкале оценки объема первичного поражения легочной паренхимы – КТ 3; б, д, з – МСКТ и результаты компьютерного расчета поражения паренхимы легких, выполненные через 5 месяцев после «выздоровления». Определяются структурные изменения в паренхиме легких, в виде множественных участков консолидации, тракционных бронхо-бронхиолектазов, ретикулярных изменений и единичных зон «матового стекла». Признаки формирования постковидного пневмофиброза; е, и – по данным ОФЭКТ с количественным расчетом изменений перфузии определяются выраженные нарушения микроциркуляции, выявлены зоны локального снижения кровотока до 30 % от нормы

Fig. 4. Patient F., 70 years old, with post-COVID syndrome: а, в, ж – MSCT and results of lung parenchyma lesions computer-assisted calculation performed in the acute period of the disease, on day 12 from its onset. Multiple foci of consolidation, focal areas of ground-glass, reticulum disorders are determined. According to the visual empirical scale for assessing the lung parenchyma primary lesion volume – CT 3; б, д, з – MSCT and results of lung parenchyma lesions computer-assisted calculation performed in 5 months after “recovery”. Structure changes of the lung parenchyma as multiple areas of consolidation, traction broncho-bronchiolectasis, reticular changes and single areas of ground-glass are determined. Signs of the post-covid pneumofibrosis; е, и – According to SPECT data with a quantitative calculation of perfusion changes, pronounced microcirculation disorders are determined, zones of local decreased blood flow up to 30 % of lower limit of normal are revealed

составил $12,3 \pm 3,7$ %. Выявлена высокая корреляционная зависимость ($r_s > 0,97$) между выявляемыми изменениями перфузии с накоплением РФП меньше 0,5 (50 %) от нормы, с последующим развитием в этих участках необратимых изменений.

В основе формирования разных типов поражения легочной ткани при внебольничной пневмонии лежат одни и те же симптомы, сочетание которых позволяет определить ее фенотип, важный для принятия терапевтической тактики.

При всех типах инфекционного поражения определялись вторичные признаки консолидации легочной ткани (дисковидные, пластинчатые ателектазы), имеющие реактивный характер и не влияющие на прогноз заболевания.

Имелись лучевые особенности, влияющие на прогноз заболевания. Так, при экссудативных бронхолитах отмечался медленный регресс изменений и формирование остаточной обструкции (что связано с большим объемом поражения и вовлечением бронхов высоких генераций).

Для сравнения можно привести опубликованные ранее данные о долгосрочных исходах у пациентов, перенесших пневмонию, вызванную вирусом SARS. Оказалось, что через 1 год после выписки нарушение DLCO наблюдалось у подавляющего большинства пациентов – в 80 % случаев, при этом ухудшение было легким в 46 % случаев и умеренным – в 23 %. Рестриктивные и обструктивные нарушения ФВД обнаружили у 20 % пациентов, обструктивный синдром чаще всего наблюдался у курильщиков [14]. Проспективное когортное исследование D. S. Hui et al. показало, что среди 110 больных, выживших после ОПЛ/ОРДС, вызванного SARS, через 1 год после начала заболевания снижение DLCO сохранялось у 24 % пациентов, а рентгенологические изменения – у 28 % [15, 16]. После вспышки атипичной пневмонии и ближневосточного респираторного синдрома (MERS) у пациентов выявлялось развитие постинфекционного фиброза [17], сохранение аномальных результатов на КТ грудной клетки и развитие фиброза легких наблюдали у пациентов после 7 лет от появления симптомов заболевания [18].

При инфекционных альвеолитах отмечалась высокая коморбидность (при COVID-19 чаще, чем при гриппозных и парагриппозных пневмониях), более частое и тяжелое формирование остаточных изменений.

При инфекционных альвеолитах, связанных с гриппозными, парагриппозными и COVID-19 поражениями, у трети пациентов наблюдались симптомы локальной инфильтрации, соответствующей сегментарному строению легких, что объяснялось присоединением бактериального воспаления и инфаркт-пневмонии и свидетельствовало о неблагоприятном течении процесса.

Заключение

При фенотипах диссеминированных неспецифических инфекционных поражений необходимо оценивать последствия, используя программы искусственного интеллекта КТ и ОФЭКТ, что позволит выявить остаточные перфузионные и обструктивные нарушения и их изменения при динамическом наблюдении.

Накопление опыта лучевого обследования больных внебольничной пневмонией с использованием программ искусственного интеллекта позволяет количественно оценить остаточные анатомические и микроциркуляторные изменения, что важно для тактики лечения.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Литература / References

1. Тюрин И.Е. Рентгенодиагностика тяжелой пневмонии и гриппа. Лучевая диагностика и терапия. 2016;1, (7):13–16. [Tyurin I.E. X-RAY radiology of severe pneumonia and flu. *Diagnost. Radiol. and Radiother.* 2016;1:13–16. (In Russ.).] DOI: 10.22328/2079-5343-2016-1-13–16.
2. Чучалин А.Г. Пневмония: актуальная проблема XXI века. *Тер. арх.* 2016;88(3):4–12. [Chuchalin A.G. Pneumonia: an actual problem of the 21st century. *Ther. Arch.* 2016;88(3):4–12. (In Russ.).] DOI: 10.17116/terarkh20168834-12.
3. Herold C., Franquet T. Pulmonary infections. *The ESC Textbook of Cardiovascular Medicine*. 2018.:409–411. DOI: 10.1093/med/9780198784906.003.0080.
4. Inui S. Radiology: Cardiothoracic Imaging, Available at: <https://www.researchgate.net/journal/Radiology-Cardiothoracic-Imaging-2638-6135>. Accessed at: 24.02.2022.
5. Han X., Fan Y., Alwalid O. et al. Six-month Follow-up Chest CT Findings after Severe COVID-19 Pneumonia. *Radiology*. 2021;299(1):E177–E186. DOI: 10.1148/radiol.2021203153.
6. Сперанская А.А. Роль искусственного интеллекта в оценке прогрессирующих фиброзирующих болезней легких. *Тер. арх.*, 2022;94(3):409–412. [Speranskaia A.A. The role of artificial intelligence in assessing the progression of fibrosing lung diseases. *Ther. Arch.* 2022;94(3):409–412. (In Russ.).] DOI: 10.26442/00403660.2022.03.201407.
7. Золотницкая В.П., Тишков А.В., Агафонов А.О., Страх Л.В., Амосова О.В. Новые возможности обработки результатов радиологического исследования легких. *REJR*. 2019;9(2):98–106. [Zolotnitskaia V.P., Tishkov A.V., Agafonov A.O., Strach L.V., Amosova O.V. New possibilities of processing the results of lungs radiological studies. *REJR*. 2019;9(2):98–106. (In Russ.).] DOI: 10.21569/2222-7415-2019-9-2-98-106.
8. Золотницкая В.П. Лучевая диагностика нарушений микроциркуляции в легких у больных с внебольничной пневмонией. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2020;19(3):31–38. [Zolotnitskaia V.P. Radiation diagnosis of pulmonary microcirculation in patients with community-acquired pneumonia. *Region. Hemodynam. Microcirc.* 2020;19(3):31–38. (In Russ.).] DOI: 10.24884/1682-6655-2020-19-3-31-38.
9. Nalbandian A., Sehgal K., Gupta A. et al. Post-acute COVID-19 syndrome. *Nature Med.* 2021;27:601–661. DOI: 10.1038/s41591-021-01283-z.
10. Martini K., Larici A.R., Revel M.P. et al. COVID-19 pneumonia imaging follow-up: when and how? A proposition from ESTI and ESR. *Europ. Radiol.* 2022;32:2639–2649. DOI: 10.1007/s00330-021-08317-7.
11. Zu Z.Y., Jiang M.D., Xu P.P. et al. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): a perspective from China. *Radiology*. 2020;296(2):E15–E25. DOI: 10.1148/radiol.2020200490.
12. Сперанская А.А., Осипов Н.П., Лыскова Ю.А., Амосова О.В. КТ-диагностика последствий COVID-19 поражения легких. Лучевая диагностика и терапия. 2021;12(4):58–64. [Speranskaia A.A., Osipov N.P., Lyskova I.A., Amosova O.V. CT patterns of residual changes in COVID-19 lung lesions. *Diagnost. Radiol. Radiother.* 2021;12 (4):58–64. (In Russ.).] DOI: 10.22328/2079-5343-2021-12-4-58-64.
13. Золотницкая В.П., Амосов В.И., Титова О.Н., Агафонов А.О., Амосова О.В. Нарушения микроциркуляции в легких по данным перфузионной ОФЭКТ у пациентов в постковидном периоде. *REJR*. 2021;11(2):8–18. [Zolotnitskaya V.P., Amosov V.I., Titova O.N., Agafonov A.O., Amosova O.V. Disturbances of microcirculation in the lungs according to perfusion PET/CT in patients in the post-COVID period. *REJR*. 2021;11(2):8–18. (In Russ.).] DOI: 10.24884/1682-6655-2021-11-2-8-18.

sova O.V. Disorders of microcirculation in the lungs according to perfusion SPECT data in patients in post COVID-19 condition. *REJR*. 2021;11(2):8–18. (In Russ.). DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-2-8-18.

14. Orme J., Romney J.S., Hopkins R.O., Pope D., Chan K.J., Thomsen G., Crapo R.O., Weaver L.K. Pulmonary function and health related quality of life in survivors of acute respiratory distress syndrome. *Amer. J. Resp. Crit. Care Med*. 2003;167:690–694. DOI: 10.1164/rccm.200206-542OC.

15. Hui D.S., Wong K.T., Ko F.W., Tam L.S., Chan D.P., Woo J., Sung J.J.Y. The 1-Year Impact of Severe Acute Respiratory Syndrome on Pulmonary Function, Exercise Capacity, and Quality of Life in a Cohort of Survivors. *Chest*. 2005. 128(4): 2247–2261. DOI:10.1378/chest.128.4.2247.

16. Авдеев С.Н., Карчевская Н.А., Баймаканова Г.Е., Черняк А.В. Годичное наблюдение за больными, перенесшими острое повреждение легких/острый респираторный дистресс-синдром, вызванный вирусом гриппа А/Н1N1. Пульмонология. 2011;(4):58–66. [Avdeev S.N., Karchevskaya N.A., Baimakanova G.E., Cherniak A.V. A one year follow up study of patients survived after ALI/ARDS caused by influenza A/H1N1. *Pulmonology*. 2011;(4):58–66. (In Russ.).]

17. Antonio G.E., Wong K.T., Hui D.S. Thin-section CT in patients with severe acute respiratory syndrome following hospital discharge: preliminary experience. *Radiology*. 2003;228:810–815. DOI: 10.1148/radiol.2283030726.

18. Wu X., Dong D., Ma D. Thin-section computed tomography manifestations during convalescence and long-term followup of patients with severe acute respiratory syndrome (SARS). *Med. Sci. Monit*. 2016; 22:2793–2799. DOI: 10.12659/msm.896985.

Информация об авторах:

Лыскова Юлия Анатольевна – аспирант кафедры рентгенологии и радиационной медицины с рентгенологическим и радиологическим отделениями, ПСПбГМУ им. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, e-mail: juluxasun@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9132-8989.

Сперанская Александра Анатольевна – д-р мед. наук, профессор кафедры рентгенологии и радиационной медицины с рентгенологическим и радиологическим отделениями, ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: a.spera@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8322-4509.

Золотнишкая Валентина Петровна – д-р биол. наук, старший научный сотрудник научно-клинического центра лучевой диагностики, ПСПбГМУ им. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: zolotnitskaja68@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7982-3805.

Осипов Николай Петрович – ассистент кафедры рентгенологии и радиационной медицины с рентгенологическим и радиологическим отделениями, ПСПбГМУ им. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: n.osipov1977@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6851-7186.

Амосова Ольга Викторовна – ординатор кафедры рентгенологии и радиационной медицины, ПСПбГМУ им. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: amosova-ol@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2482-7435.

Authors information:

Lyiskova Yulia A. – graduate student of the Department of Radiology and Radiation Medicine with X-ray and Radiological, Pavlov University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: juluxasun@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9132-8989.

Speranskaya Aleksandra A. – PhD, Professor of the Department of Radiology and Radiation Medicine with X-ray and Radiological, Pavlov University, Saint Petersburg, Russia, E-mail: a.spera@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8322-4509.

Zolotnitskaya Valentina P. – PhD, Senior Scientific Researcher and Scientific and Clinical Center for Radiation Diagnostics, Pavlov University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: zolotnitskaja68@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7982-3805.

Osipov Nikolay P. – assistant of the Department of Radiology and Radiation Medicine with X-ray and Radiological Departments, Pavlov University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: n.osipov1977@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6851-7186.

Amosova Olga V. – Resident of the Department of Radiology and Radiation Medicine, Pavlov University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: amosova-ol@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2482-7435.