

ISSN 2311-4495
ISSN 2410-5155 (Online)
УДК 616-073.756.8:616.12-
008.331.1:578.834.1

МР-ТОМОГРАФИЯ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ В ОЦЕНКЕ ТЯЖЕСТИ ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТОНИИ У ПАЦИЕНТОВ, ПЕРЕНЕСШИХ COVID-19

Васильцева О. Я.¹, Игнатенко Г. А.², Берген Т. А.¹, Таркова А. Р.¹,
Нуднов Н. В.^{3,4,5}, Первак М. Б.², Воробьева В. О.⁶,
Лишманов Ю. Б.⁷, Усов В. Ю.^{1,7,8}, Чернявский А. М.¹

Контактная информация:
Усов Владимир Юрьевич,
ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е. Н. Мешалкина»
Минздрава России,
ул. Речкуновская, д. 15, Новосибирск,
Россия, 634090.
E-mail: usov1962@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию
15.02.2023 и принята к печати
25.05.2023.*

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр имени
академика Е. Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, Новосибирск, Россия

² Государственная образовательная организация высшего
профессионального образования «Донецкий национальный
медицинский университет имени М. Горького», Донецк, Россия

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства
здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

⁴ Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение дополнительного профессионального образования
«Российская медицинская академия непрерывного
профессионального образования» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, Москва, Россия

⁵ Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Российский университет
дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Россия

⁶ Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр онкологии
имени Н. Н. Блохина» Министерства здравоохранения Российской
Федерации

⁷ Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет», Томск,
Россия

⁸ Научно-исследовательский институт кардиологии Федерального
государственного бюджетного научного учреждения «Томский
национальный исследовательский медицинский центр Российской
академии наук», Томск, Россия

Резюме

Актуальность. МРТ органов грудной клетки (МРТ ОГК) позволяет диагностировать заболевание в остром периоде ковид-ассоциированной пневмонии (КАП), оценить динамику лечения и экстрапульмональную патологию. Возможности МРТ в исследовании постковидной легочной артериальной гипертензии (ЛАГ) остаются невыясненными. **Цель.** Визуально и количественно изучить картину МРТ ОГК у пациентов, перенесших КАП, и провести количественную оценку признаков постковидной ЛАГ. **Материалы и методы.** В исследование были включены 34 пациента, перенесших в сроки 3,5–7 месяцев COVID-19 с вовлечением паренхимы легких степеней тяжести при поступлении КТ1–КТ3 по данным спиральной рентгеновской КТ. Всем пациентам выполнена МРТ ОГК в ЭКГ- и дыхательно-синхронизированных T1- (T1-ВИ), T2- (T2-ВИ) и диффузионно-взвешенных протоколах МРТ, а также УЗИ сердца и крупных сосудов грудной полости, с расчетом систолического давления в правом желудочке (СДПЖ). **Результаты.** Выделены три группы пациентов: с тяжестью в остром периоде КАП КТ1 (группа 1), КТ2 (группа 2) и КТ3 (группа 3). Частота субсегментарных/сегментарных признаков тромбоэмболии ветвей ЛА была достоверно выше в группах КТ2 и КТ3. Диаметр ЛА, СДПЖ и индекс отношения интенсивностей T1-ВИ {Легкое/ЛА} прогрессивно нарастали от группы 1 к группе 2 и группе 3. Зависимость СДПЖ от показателя {Легкое/ЛА} носила характер Больцмановской кривой ($r = 0,92$, $p < 0,01$). **Заключение.** МР-томографическое исследование органов грудной клетки в T1-ВИ позволяет оценить степень постковидных изменений в толще паренхимы легких и прогнозировать ранние формы повышения легочного артериального давления и формирования ЛАГ.

Ключевые слова: ковид-ассоциированная пневмония, легочная артериальная гипертензия, МРТ легких.

Для цитирования: Васильцева О.Я., Игнатенко Г.А., Берген Т.А., Таркова А.Р., Нуднов Н.В., Первак М.Б., Воробьева В.О., Лишманов Ю.Б., Усов В.Ю., Чернявский А.М. МР-томография органов грудной клетки в оценке тяжести легочной артериальной гипертензии у пациентов, перенесших COVID-19. Трансляционная медицина. 2023;10(3):229-245. DOI: 10.18705/2311-4495-2023-10-3-229-245.

MRI OF THE CHEST IN ASSESSING THE SEVERITY OF PULMONARY ARTERIAL HYPERTENSION IN PATIENTS UNDERWENT COVID-19

Oksana Ya. Vasil'tseva¹, Grigorii A. Ignatenko², Tatiana A. Bergen¹, Aleksandra R. Tarkova¹, Nikolay V. Nudnov^{3,4,5}, Marina B. Pervak², Valentina O. Vorobeveva⁶, Yuri B. Lishmanov⁷, Wladimir Yu. Ussov^{1,7,8}, Alexander M. Cherniavsky¹

Corresponding author:

Wladimir Yu. Ussov,
Meshalkin National Medical Research
Center,
Rechkunovskaya str., 15, Novosibirsk,
Russia, 634090.
E-mail: ussov1962@yandex.ru

¹ Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russia

² M. Gorky Donetsk National Medical University, Donetsk, Russia

³ National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁴ Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia

⁵ People's Friendship University of Russia, Moscow, Russia

⁶ N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia

⁷ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

⁸ Cardiology Research Institute of the Tomsk National medical research center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

Received 15 February 2023; accepted 25 May 2023.

Abstract

Background. Chest MRI allows diagnosing in the acute period of covid-associated pneumonia (CAP) and assessing the dynamics of treatment. The potential of MRI in postcovid pulmonary arterial hypertension (PAH) study remains unclear. **Objective.** To examine the chest MRI picture in CAP patients and to quantify the signs of post-COVID PAH. **Design and methods.** The study included 34 patients who underwent COVID-19 within 3.5–7 months with involvement of the parenchyma of mild severity upon admission of CT1–CT3 according to spiral X-ray CT. All patients underwent chest MRI in ECG- and respiratory-synchronized T1- (T1-WI), T2 (T2-WI) and diffusion-weighted MRI protocols and ultrasound of the heart and large vessels of the chest cavity, with the calculation of systolic pressure in the right ventricle (SPRV). **Results.** Three groups were distinguished: CT1 (group 1), CT2 (group 2) and CT3 (group 3). The frequency of subsegmental/segmental signs of LA branches thromboembolism was significantly higher in groups CT2 and CT3. LA diameter, SPRV and T1-WI intensity ratio index {Lung/LA} progressively increased from group 1 to group 3. The dependence of SPRV on the {Lung/LA} was fitted using Boltzmann curve ($r = 0.92$, $p < 0.01$). **Conclusion.** Chest MRI in T1-WI allows assessing the degree of post-covid changes in the lung parenchyma thickness and predicting early forms of increased pulmonary arterial pressure and the formation of PAH.

Key words: chest MRI, COVID-associated pneumonia, pulmonary arterial hypertension.

For citation: Vasil'tseva OYa, Ignatenko GA, Bergen TA, Tarkova AR, Nudnov NV, Pervak MB, Vorobeva VO, Lishmanov YuB, Ussov WYu, Cherniavsky AM. MRI of the chest in assessing the severity of pulmonary arterial hypertension in patients underwent COVID-19. Translyatsionnaya meditsina=Translational Medicine. 2023;10(3):229-245. (In Russ.) DOI: 10.18705/2311-4495-2023-10-3-229-245.

Введение

COVID-19, составляющий до сих пор, как многократно отмечалось [1, 2], не только обще-медицинскую, но и социальную проблему, к сожалению, не исчерпывается эпизодом острого заболевания, а приводит к многочисленным пост-ковидным нарушениям со стороны собственно легких [3], головного мозга [4], миокарда [3, 5]. Несмотря на явное падение первичной заболеваемости и фактическую победу над этой эпидемией в России, исходы и осложнения COVID-19, вплоть до летальных, по-прежнему ухудшают картину общей смертности в РФ. Эти исходы и осложнения острой фазы COVID-19 интенсивно изучаются для их прицельного выявления средствами томографических и функциональных исследований [5]. Клинически в отдаленном периоде ковид-ассоциированной пневмонии, после достижения ремиссии, как правило, отчетливая симптоматика отсутствует, хотя нарушения ритма, одышка и сердцебиение сохраняются до нескольких месяцев [3].

При этом картина спиральной рентгеновской КТ органов грудной клетки и в первую очередь — легких — примерно в половине случаев выглядит близкой к возрастной норме и не вызывает беспокойств. В чуть более чем половине случаев (53,9 %) определялись различные изменения легочной ткани — полиморфные субплевральные участки уплотнения паренхимы различной плотности, ли-

нейные и курвилинеарные паренхиматозные тяжи, ретикулярные изменения, бронхо- и бронхиолоэктазы [3]. Компьютерная томография при COVID-19 применяется не только в остром периоде для определения инфильтрации легочной ткани и объема ее поражения, но и для мониторинга течения болезни и оценки остаточных изменений после перенесенной вирусной инфекции. Так, в динамике через 4–6 месяцев полное восстановление пневматизации легочной ткани отмечено только у части пациентов со степенью КТ1 и КТ2 и без участков консолидации в остром периоде, у больных со средним и значительным объемом вовлечения (КТ3, КТ4) и с проявлением инфильтрации в виде консолидации отмечались более выраженные поствоспалительные изменения легких. Корреляции КТ- и клинических данных через 4–6 месяцев от начала заболевания не выявлено. У значительной доли пациентов, перенесших ковидную пневмонию, развивается стойкая легочная артериальная гипертензия [6].

Методы МРТ органов грудной клетки (МРТ ОГК), в том числе — перфузионные и вентиляционные, как скрининговые, так и использующие парамагнитное контрастное усиление, зарекомендовали себя во время эпидемии COVID-19 как высокоэффективные в первичном выявлении и оценке тяжести этого массового заболевания [7]. Они позволяют в остром периоде ковид-ассоции-

рованной пневмонии рано выявить заболевание, а затем сколь нужно часто оценивать динамику лечения и экстрапульмональную патологию. Однако возможности МРТ в исследовании постковидной легочной артериальной гипертензии (ЛАГ) и ее формирования в связи с остаточными или персистирующими фиброзирующими изменениями паренхимы легких оставались невыясненными.

Поэтому в настоящем исследовании мы как раз ставили целью визуально и количественно изучить картину МРТ ОГК у пациентов, перенесших ковид-ассоциированную пневмонию, в частности в отношении признаков постковидной ЛАГ.

Материал и методы

Пациенты. В исследование были включены 34 пациента (19 мужчин 34–57 лет; 15 женщин 32–59 лет), перенесшие в сроки 3,5–7 месяцев COVID-19 с рентген-томографически подтвержденным вов-

лечением паренхимы легких, степеней тяжести при поступлении КТ1–КТ3 по данным спиральной рентгеновской КТ [8]. Пациентов, перенесших ковид-ассоциированную пневмонию с тяжестью поражения паренхимы легких КТ4, среди наших обследованных не было. Также мы не имели возможности подтвердить наши данные морфологическими заключениями — поскольку (к счастью) умерших пациентов на момент данного исследования и затем на протяжении до 10–12 месяцев — не было.

В соответствии с представленными в выписном эпикризе госпитализации по поводу ковид-ассоциированной пневмонии результатами спиральной рентгеновской КТ легких, пациенты были разделены на три группы — с тяжестью в остром периоде ковид-ассоциированной пневмонии КТ1 (группа 1 — 9 пациентов), КТ2 (группа 2 — 14 пациентов) и КТ3 (группа 3 — 11 пациентов).

Таблица 1. Общеклинические показатели пациентов, включенных в настоящее исследование, по группам обследованных

Table 1. General clinical aparameters of the patients included in the study, assembled to the groups of examined

Клинический показатель Clinical indicator	Группа обследованных		
	Группа 1 (степень тяжести КТ1) Group 1 (severity of CT1) (n = 9)	Группа 2 (степень тяжести КТ2) Group 2 (severity of CT2) (n = 14)	Группа 3 (степень тяжести КТ 3) Group 3 (severity of CT 3) (n = 11)
Мужчины / женщины Male / Female	4/5	8/6	7/4
Возраст, годы Age, years	32–56 63,12 ± 3,18	34–59 57,55 ± 3,32	34–57 60,61 ± 3,82
Индекс массы тела, кг/м ²	26 (20–31)	25 (21–31)	24 (22–27)
Артериальная гипертензия Arterial hypertension	5/9	7/14	5/11
ИБС Coronary heart disease	4/9	6/14	5/11
Курение в доковидный период, до заболевания Smoking in the pre-COVID-19 period, before the disease	4/9	5/14	5/11
Уровень глюкозы на момент исследования, ммоль/л Glucose level at the time of the study, mmol/l	5.6 (5.1–7.1)	5.8 (4.9–6.9)	5.9 (4.9–8.2)
Холестерин, ммоль/л Cholesterol, mmol/l	4.8 (4.0–5.5)	4.9 (4.3–5.4)	4,7 (3.8–6.2)

Все пациенты были некурящими в постковидный период. 15 пациентов (11 мужчин, 4 женщины) страдали ишемической болезнью сердца ФК1-2, при этом перенесенных ранее острых инфарктов миокарда не было ни у кого. Детальное распределение по клиническим данным и коморбидной патологии представлено в нижеследующей таблице 1.

Все пациенты, участвовавшие в исследовании, дали на это письменное добровольное информированное согласие, а исследование проводилось в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации в редакции 2013 года.

Контрольную группу составили 9 здоровых добровольцев (5 мужчин и 4 женщины, в возрасте 35–56 лет), клинически здоровых и без выявленных при последнем по времени профилактическом осмотре в срок год и менее каких-либо заболеваний. Клиническое направление основывалось на подозрении в наличии перенесенного острого инфаркта миокарда. Это диагностическое предположение было в результате МРТ-исследования отвергнуто.

Всем обследованным была выполнена МРТ ОГК в ЭКГ- и дыхательно-синхронизированных T1- (T1-ВИ), T2- (T2-ВИ) и диффузионно-взвешенных протоколах МРТ, в аксиальных плоскостях,

в матрицу 256 x 256 или 392 x 392, при размерах квадратного поля записи изображения не менее 380 x 380 мм (во избежание краевых артефактов). Детальные параметры исследования представлены в таблице 2.

У 7 пациентов МРТ ОГК (двое из группы 1, трое из группы 2 и двое — из группы 3) была впоследствии выполнена по настоянию лечащих врачей повторно в связи с сохранявшейся картиной умеренной одышки при физической нагрузке, не имевшей объяснения в рамках функциональной и клинической диагностики ИБС и не сопровождавшейся сердечной недостаточностью.

Определялись анатомические размеры легочной артерии, наличие очаговой патологии и, в частности, признаков сегментарных и субсегментарных эмболических нарушений, рассчитывался для всех протоколов в аксиальных срезах показатель соотношения средней интенсивности сигнала {Легкое/ЛА}, при этом в качестве области легочной артерии использовалась середина просвета, на удалении от стенок не менее 3 мм, во избежание вклада со стороны стенки ЛА, а собственно легкого — область в толще паренхимы левого легкого, в сегментах 4–6, на уровне бифуркации ствола ЛА — левой легочной артерии (см. рис. 4). Предварительно было

Таблица 2. Параметры протоколов МРТ, использованные в настоящем исследовании при визуализации легких после COVID-19

Table 2. Parameters of MRI protocols employed in this study for lung imaging in patients after COVID-19

Протоколы и расположение срезов Protocols and position of slices	Матрица, размеры поля зрения Matrix and FoV extent	Временные показатели эхо и повторения Times of repetition and of echo	Синхронизация записи с физиологическими сигналами Synchronization of acquisition with physiologic signals	Общая продолжительность исследования на сканере 1,5 T Overall time length when using 1,5 T scanner
Аксиальный, T1-взв. Axial T1-w	256 x 256 42 x 42 см	TR = 500–1900 мс TE = 15–32 мс	с дыханием breath-synchronized	до 3 мин. 40 сек.
Аксиальный, T2-взв. Axial T2-w	256 x 256 42 x 42 см	TR = 3000 мс TE = 90 мс	с дыханием либо задержка дыхания breath-synchronized or breath-holding	до 3 мин. 40 сек.
Фронтальный, T1-взв. Coronal T1-w	256 x 392, 256 x 256; 42 x 42 см	TR = 500–1900 мс TE = 15–32 мс	задержка дыхания breath-holding	до 2 мин. 20 сек.
Фронтальный, T2-взв. Coronal T2-w	256 x 392, 256 x 256; 42 x 42 см	TR = 3000 мс TE = 90 мс	с дыханием breath-synchronized	до 2 мин. 30 сек.

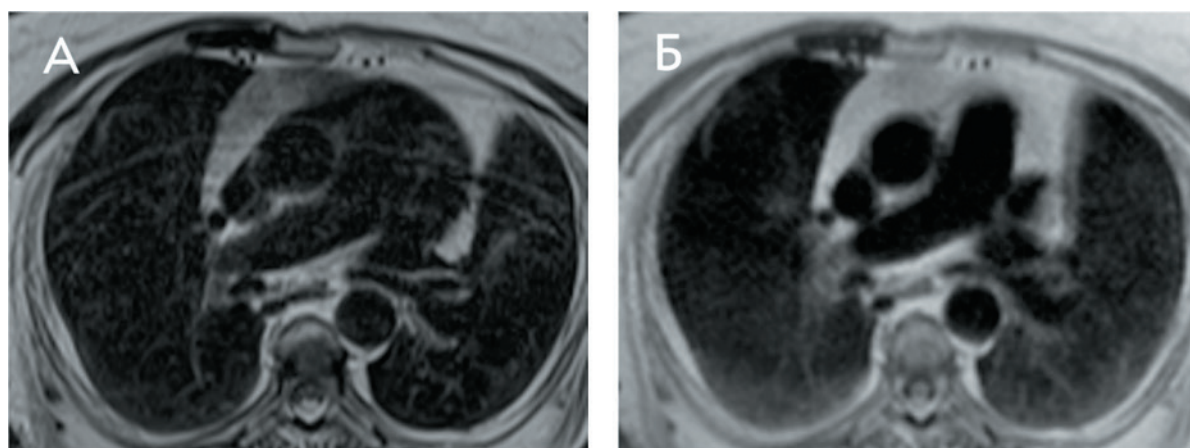


Рис. 1. Визуальное сравнение T2-ВИ (А) и T1-ВИ (Б) в оценке интерстициальных диффузных патологических изменений легочной паренхимы у пациента после перенесенного COVID-19. Аксиальные срезы на уровне бифуркации легочной артерии

Figure 1. Visual comparison of T2-WI (A) and T1-WI (B) in the assessment of interstitial diffuse pathological changes in the pulmonary parenchyma in a patient after COVID-19. Axial slices at the level of bifurcation of the pulmonary artery

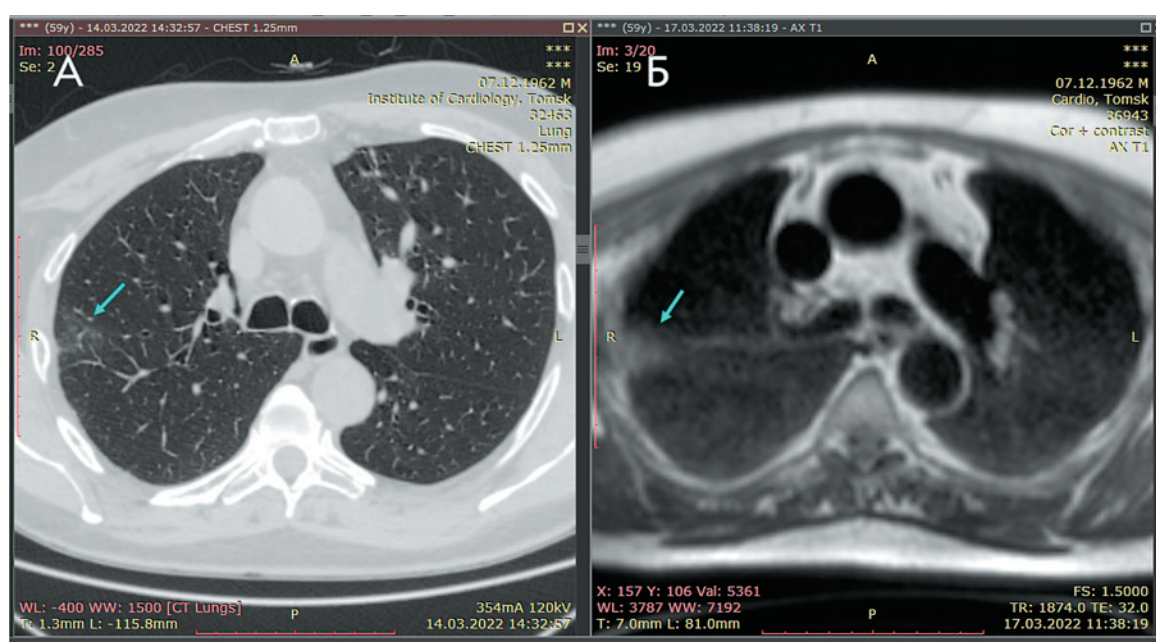


Рис. 2. Сравнение визуализационной картины эпизода субсегментарной эмболии ветвей ЛА — стрелкой указан «треугольный» участок правого легкого на КТ (А) и на МРТ в T1-ВИ (Б)

Легко видеть, что они практически конгруэнтны по форме и соответствуют эпизоду тромбоза субсегментарной ветви правой ЛА. При этом на T1-ВИ МРТ также обращает внимание диффузное усиление рисунка и интенсивности изображения легочной паренхимы в задних отделах обоих легких.

Figure 2. Comparison of the visualization picture of an episode of subsegmental embolism of the LA branches — the arrow indicates a “triangular” section of the right lung on CT (A) and on MRI in T1-WI (B)

It is easy to see that they are almost congruent in shape and correspond to an episode of thromboembolism of the subsegmental branch of the right LA. At the same time, the T1-WI MRI also draws attention to the diffuse enhancement of the pattern and intensity of the image of pulmonary parenchyma in posterior parts of both lungs.

проведено пилотное исследование, которое показало, что выделение легкого в целом для расчета соотношения интенсивностей, в частности — соотношения интенсивностей индекса {Легкое/ЛА} для различных протоколов значительно увеличивает разброс и статистические ошибки за счет трудно учитываемых факторов ауторегуляторных и гравитационных физиологических эффектов (по типу зон Веста-Хьюза). Поэтому в итоге для статистических расчетов использовались регионы выделения в толще паренхимы левого легкого, на удалении 1,5–2 см от края корня легкого, в толще паренхимы, на том же срезе, что и ствол легочной артерии, и на том же анатомическом уровне — примерно посередине легкого в аксиальном срезе. Это позволило избежать как возможного влияния гравитационных эффектов, так и эффектов со стороны печени на правое легкое, весьма вариабельных в зависимости от положения купола диафрагмы. Выбранная нами зона примерно соответствовала геометрическому центру левого легкого. Площадь зоны выделения для легкого составила 8–10 см², а для зоны выделения на поперечнике просвета легочной артерии — 1,5–2 см².

Всем пациентам одновременно с МРТ ОГК проводилось ультразвуковое исследование сердца и крупных сосудов грудной полости, в В-, М- и доплеровском режиме, в частности, с расчетом систолического давления в правом желудочке — СДПЖ, как показателя, точно характеризующего тяжесть легочной артериальной гипертензии [9] и, кроме того — прогностически определяющего дальнейшее формирование гипертрофии миокарда ПЖ у пациентов со стойкой легочной гипертензией [10].

Статистический анализ выполнялся с использованием пакета прикладных программ Origin 6.1 (Origin Co. Техас), с применением средств корреляционного анализа и параметрических и непараметрических критериев различия групп.

Результаты

В ходе выбора оптимального протокола для визуализации именно паренхимы легких, в аспекте анализа соотношения ее пневматизации и фиброзирующих изменений, наиболее оптимальным оказался синхронизированный по дыханию Т1-ВИ протокол, с относительно длинным временем по-

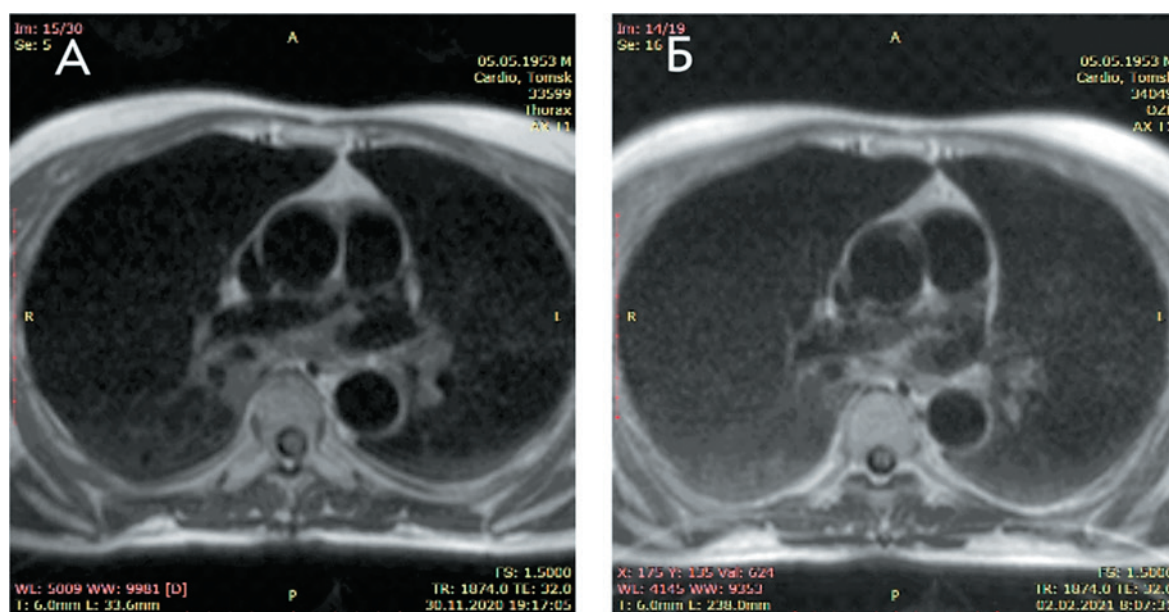


Рис. 3. Визуальная динамика картины Т1-ВИ МРТ ОГК у пациента с прогрессированием постковидного фиброза легочной паренхимы

А — картина в ноябре 2020 г.: величина СДПЖ = 23 мм рт. ст., рО₂ = 96%. Б — в феврале 2021 г.: величина СДПЖ = 35 мм рт. ст., клинически — нарастание утомляемости, апатичность, утрата работоспособности. Кроме того, в феврале 2021 г.: величина рО₂ = 94 %.

Figure 3. Visual dynamics of the T1 WI MRI of the chest in a patient with progression of post-COVID pulmonary parenchymal fibrosis

А — the picture in November 2020, the value of the systolic pressure in the right ventricle = 23 mmHg, pO₂ = 96%. Б — in February 2021, the value of systolic pressure in the right ventricle = 35 mmHg, clinically — increased fatigue, apathy, loss of working capacity. In addition, in February 2021, the value of pO₂ = 94 %.

вторения, реализованный в системе Titan Vantage с параметрами TR = 1870 мс, TE = 32 мс (рис. 1), который одновременно позволял наряду с легкими во всем их объеме детально оценить состояние и анатомические размеры — поперечник ЛА. В частности, для него при предварительном анализе минимальными оказались артефакты от неравномерностей глубины дыхания пациента. При этом очевидно, что данное решение в целом — чисто эмпирическое, поскольку при длинной величине TR изображение по физической сути становится не чисто T1-взвешенным, а включает в себя компоненты протонной плотности и T2-взвешивания.

В то же время, собственно, T2-взвешенные и диффузионно-взвешенные протоколы с варьированием показателя TR не продемонстрировали сколь-нибудь информативной разницы между пациентами групп 1 и 3 и значимой корреляции параметров МР-томографического исследования с инструментальными показателями диаметра ЛА и СДПЖ.

Ниже, в качестве визуального примера, на рисунке 1 представлено сравнение картины T2-ВИ органов грудной клетки с T1-ВИ с длинными временами TR. Легко видеть, что диффузные изменения легочной паренхимы наиболее четко визуализируются именно при проведении T1-ВИ.

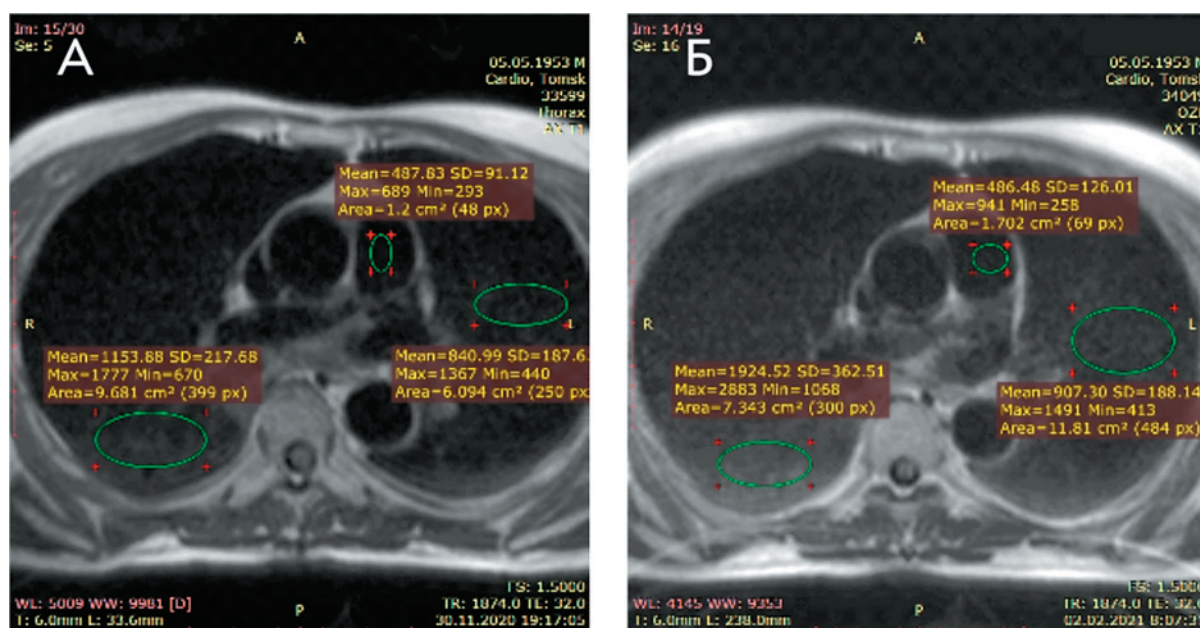


Рис. 4. Количественная оценка динамики изменений интенсивности T1-ВИ легких при прогредиентном развитии постковидной ЛАГ у того же пациента, что и на предшествующем рис. 3, на котором представлены нативные изображения без количественных показателей

Интенсивность изображения в области зоны просвета легочной артерии составляет практически неизменную величину в 487 ед. инт. в ноябре 2020 г. (А) и 486 ед. инт. в феврале 2021 г. (Б). При этом интенсивность изображения легочной паренхимы, исходно, в ноябре 2020 г. уже повышенная до 840 ед. инт. (отношение {Легкое/ЛА} равно 1,72), затем к февралю 2021 г. прогредиентно повышается до 907 ед. инт. ({Легкое/ЛА} = 1,87, достоверный прирост). Еще более выраженный характер носит прирост в области задних отделов правого легкого: с 1 153 ед. инт. до 1 924 ед. инт. Прирост в величине СДПЖ за это время составил от 23 мм рт. ст. до 35 мм рт. ст.

Figure 4. Quantitative assessment of the dynamics of changes in the intensity of T1-WI of the lungs during the progressive development of post-COVID LAG in the same patient as in the previous Fig. 3, where the native scans are presented without numerical data overlayed

The intensity of the image in the area of the lumen of the pulmonary artery is almost unchanged at 487 intensity units in November 2020 (A) and 486 units in February 2021 (B). At the same time, the intensity of the image of the pulmonary parenchyma, initially, in November 2020, has already increased to 840 units int. (the ratio of {Lung / LA} is 1.72), then by February 2021 it gradually increases further to 907 units int. ({Lung / LA} = 1.87, a significant increase). Even more pronounced is the increase in the area of the posterior sections of the right lung: from 1 153 intensity units to 1 924 units. The increase in the value of systolic pressure in the right ventricle during this time risen from 23 mmHg to 35 mmHg.

Таблица 3. Показатели МР-томографии и систолического давления в правом желудочке, в зависимости от тяжести поражения легочной паренхимы в остром периоде ковид-ассоциированной пневмонии. Результаты представлены как среднее $\pm$ среднеквадратичное отклонение

Table 3. Indexes of MR tomography and systolic pressure in the right ventricle, depending on the severity of the lesion of the pulmonary parenchyma in the acute period of covid-associated pneumonia. The results are presented as an average $\pm$ standard deviation

Показатель (как среднее $\pm$ среднеквадратичное отклонение) Index (as the mean $\pm$ standard deviation)	Тяжесть поражения легочной паренхимы в остром периоде ковид-ассоциированной пневмонии, по данным спиральной рентгеновской КТ Severity of pulmonary parenchyma lesion in the acute period of covid-associated pneumonia, according to spiral X-ray CT		
	Группа контроля (n = 9)	КТ1 (n = 9)	КТ2 (n = 14)
Индекс отношения интенсивностей {Легкое/ЛА} Intensity ratio index {Lung/LA}	1,29 $\pm$ 0,19	1,67 $\pm$ 0,52	2,39 $\pm$ 0,74 $p_{2-1} < 0,05$
Частота субсегментарных/сегментарных признаков ТЭ ветвей ЛА Frequency of subsegmental/segmental signs of TE branches of LA	0/9	4/9	8/14 $p_{2-1} < 0,05$
Диаметр ЛА, мм Diameter of the aircraft, mm	25,7 $\pm$ 1,95	28,30 $\pm$ 4,27	31,17 $\pm$ 2,41 $p_{2-1} > 0,05$
СДПЖ, мм рт. ст. Systolic pressure in the right ventricle	19,57 $\pm$ 3,62	27,20 $\pm$ 7,64	36,29 $\pm$ 9,31 $p_{2-1} < 0,05$

Кроме того, даже в условиях синхронизации записи по дыханию Т2-ВИ в половине случаев имели дыхательные артефакты (рис. 1А), тогда как в Т1-ВИ они встречались менее чем в 7 % случаев.

Патологические особенности за счет фиброзных постковидных диффузных изменений паренхимы — усиление интенсивности, оказались наилучшим образом видны уже при чисто визуальном анализе именно на Т1-ВИ (рис. 1–3). Одновременно Т1-ВИ обеспечивают оптимальную визуализацию просвета легочной артерии, для оценки ее анатомических размеров, размеров аорты, а также анатомической толщины различных частей клетчатки средостения, достоверно связанных с прогнозом развития атеросклероза и его осложнений у таких пациентов [11], что в перспективе может представлять интерес в аспекте дальнейшего анализа взаимоотношений жировых депо и состояния крупных артериальных сосудов средствами МР-томографического исследования.

В случае нарушений легочного кровообращения по типу тромбоэмболии легочной артерии или ее ветвей, вплоть до субсегментарных, МРТ ОГК в Т1-

ВИ, с длинными временами TR, как в приведенном ниже случае (рис. 2), обеспечивает надежную визуализацию участка поражения паренхимы при ТЭЛА. Как легко видеть при сравнении с КТ легких, наряду с четким выявлением одиночного субсегментарного участка нарушения легочного кровообращения, МРТ визуализирует и диффузные изменения легочной паренхимы (рис. 2), которые на рентгеновской КТ существенно менее очевидны. Такие проявления субсегментарных эпизодов тромбоэмболии ветвей ЛА встречались у пациентов групп 2 и 3 достоверно чаще, чем у пациентов группы 1 (табл. 3).

На рисунке 3 представлен случай повторного проспективного исследования — МРТ ОГК пациента, перенесшего ковид-ассоциированную пневмонию тяжести КТ1, у которого затем в постковидном периоде сохранялась и прогрессировала слабость, ощущение нехватки воздуха и одышки при умеренной физической нагрузке. При отсутствии значимых признаков стенозирующего атеросклероза коронарных артерий и иных кардиальных причин нарастания симптоматики, у него отмечалось выраженное прогрессирующее диф-

фузное усиление интенсивности Т1-ВИ легочной паренхимы. При количественной обработке изображения МРТ ОГК у этого пациента прогрессирующее ухудшение становилось еще более очевидным.

Анализ количественных показателей МРТ ОГК у наших пациентов показал, что все пациенты с перенесенной ковид-ассоциированной пневмонией имели повышенные по сравнению с контрольной группой показатели размеров легочной артерии и интенсивности Т1-ВИ легочной паренхимы. Также в зависимости от тяжести поражения легких в остром периоде перенесенной ковидной пневмонии (степени поражения паренхимы по данным рентгеновской КТ), имел место ряд значимых различий по наблюдавшейся картине МРТ. В целом, результаты представлены в таблице 3 и детализированы по индивидуальным значениям и их внутригрупповому распределению на рис. 5–7.

Так, пациенты, перенесшие ковид-ассоциированную пневмонию тяжести КТ1, имели в сроки 3,5–7 месяцев величины индекса отношения интенсивностей Т1-ВИ {Легкое/ЛА}, отражающие фиброзирование легочной паренхимы, достоверно ниже, чем КТ2 и КТ3. В то же время изменения от группы КТ2 к группе КТ3 носили характер тенденции, не достигавшей полной достоверности.

Однако и при нетяжелом поражении паренхимы легких — при тяжести перенесенной ковид-ассоциированной пневмонии КТ1 — в отдельных случаях отмечались индивидуальные высокие значения индекса {Легкое/ЛА}, а при КТ2 и КТ3 — индивидуальные показатели этого индекса, также у отдельных пациентов, были существенно более низкими, чем среднее по группе 1 (рис. 5).

При этом существенно, что субсегментарные очаги эмболизации ветвей ЛА третьего и четвер-

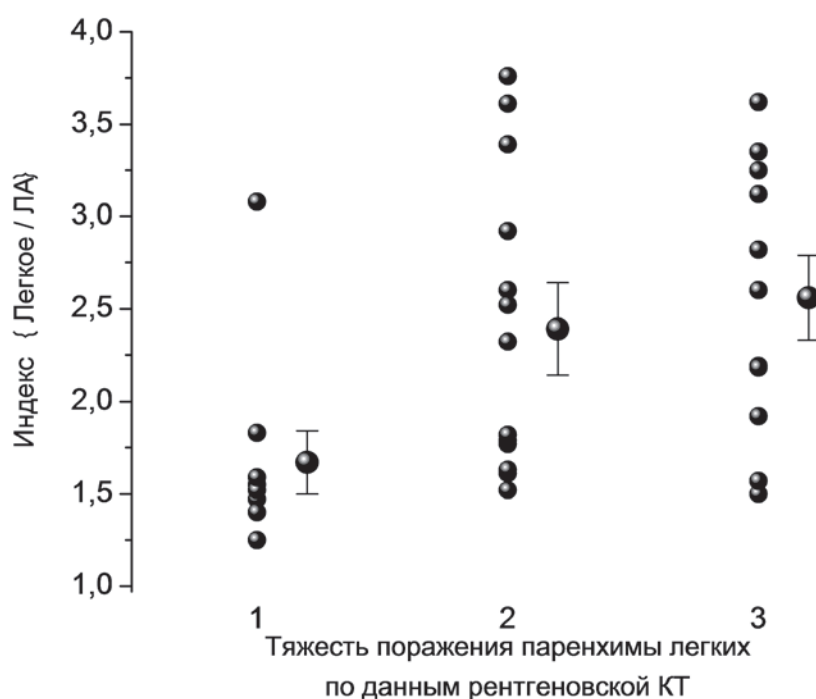


Рис. 5. Групповое распределение величин индекса соотношения интенсивностей Т1-ВИ {Легкое/ЛА}, полученных в сроки 3,5–7 месяцев после перенесенной ковид-ассоциированной пневмонии, в зависимости от объема поражения легких в острой фазе ковид-ассоциированной пневмонии, как КТ1–3

Рядом со столбцами внутригруппового распределения индивидуальных значений {Легкое/ЛА} — средние по группе ± ошибка среднего.

Figure 5. Group distribution of values of the T1-WI {Lung/LA} intensity ratio obtained within 3.5–7 months after COVID-associated pneumonia, depending on the volume of lung damage in the acute phase of COVID-associated pneumonia, as CT1–3

Next to the columns of the intra-group distribution of individual values {Lung/LA} are the group averages ± error of the mean.

того порядка — см. типичный пример картины КТ и МРТ на рис. 2 — отмечались в группе 1 достоверно реже, чем в 2-й и 3-й, что соответствует данным литературы об их патологическом влиянии на формирование легочной артериальной гипертензии даже при относительно небольшой доле вовлеченной ткани легких [12, 13].

Сходным образом КТ2 и КТ3 сопровождалась более высокими значениями показателей диаметра ЛА (табл. 1, рис. 6) и СДПЖ (табл. 1, рис. 7).

Таким образом, совокупность представленных данных показывает, что объем поражения паренхимы легкого в острой фазе заболевания при ковид-ассоциированной пневмонии в достоверной степени предопределяет последующие фиброзирующие изменения в легочной паренхиме, но внутригрупповой разброс даже при более тяжелой форме при этом значителен, и достоверное дискриминантное индивидуальное разделение групп по какому-либо одиночному из параметров все же не осуществимо, как видно на рисунках 5–7. Однако в аспекте клинической оценки более существенно, нежели поиск

факторов, дополнительно разделяющих группы пациентов с исходной тяжестью ковидного поражения в остром периоде КТ1, КТ2 и КТ3, — отыскание факторов, детерминирующих нарастание артериального давления в системе легочной артерии, точнее — их МР-томографических представлений. Таким показателем оказалась плотность ткани легких в режиме T1-ВИ, объективной мерой которой оказался индекс T1-ВИ {Легкое/ЛА}. Частный клинический пример этого представлен нами на рисунках 3 и 4. На рисунке 3 можно видеть, что с ноября по февраль следующего года у пациента происходит визуально заметное увеличение интенсивности изображения («плотности») легочной паренхимы, а на рисунке 4 представлены топически привязанные величины интенсивности T1-ВИ и индекса T1-ВИ {Легкое/ЛА}, которые инструментально объективизируют зрительную картину. Фактически, это наблюдение послужило основой дальнейшего статистического анализа.

В целом в нашем контингенте повторное МРТ исследование легких было проведено всего у 7 па-

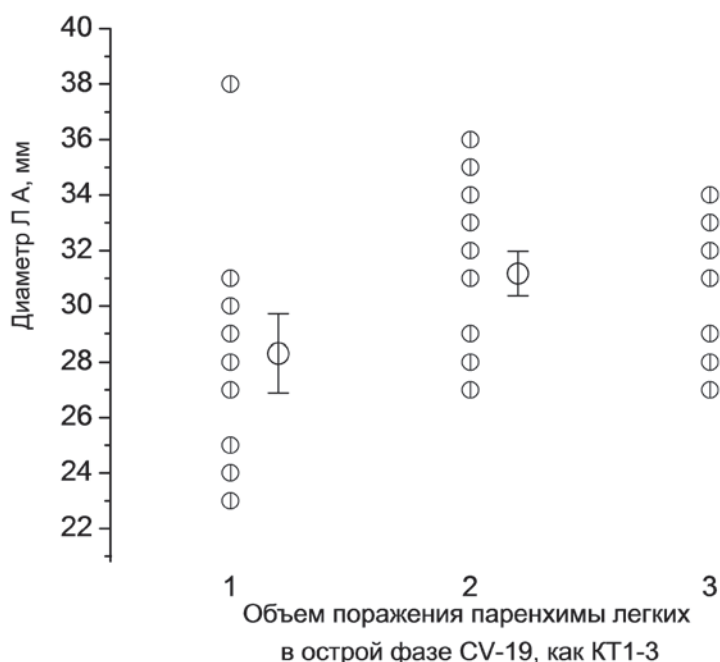


Рис. 6. Распределение величин диаметра легочной артерии в сроки 3,5–7 месяцев после перенесенной ковид-ассоциированной пневмонии, в зависимости от объема поражения легких в острой фазе, оцениваемого как КТ1–3

Рядом со столбцами распределения индивидуальных значений — средние по группе $\pm$ ошибка среднего.

Figure 6. Distribution of the values of the diameter of the pulmonary artery in the period of 3.5–7 months after COVID-associated pneumonia, depending on the volume of lung damage in the acute phase, estimated as CT1–3

Next to the columns of the distribution of individual values are the averages for the group $\pm$ the error of the mean.

циентов, что совершенно недостаточно для убедительной статистики. Однако все же заметим, что у трех пациентов, у которых клиническое состояние ухудшалось (данные одного из них как раз и представлены на рис. 3 и 4), — нарастал и индекс Т1-ВИ {Легкое/ЛА}, и обратно — снижение данного индекса у четырех пациентов сопровождалось субъективным клиническим улучшением.

Индекс {Легкое/ЛА} достоверно, но со значительным разбросом коррелировал с величиной диаметра ЛА (рис. 8), что можно расценивать как влияние процессов интерстициального фиброзирования на расширение просвета крупных легочных артерий. Коэффициент корреляции между диаметром ЛА и СДПЖ, отражающий тот же патофизиологический механизм, также был достоверен, но при этом невелик ($R = 0,41$, $p < 0,01$).

Наиболее достоверный и очевидно нелинейный характер носила зависимость СДПЖ от показателя {Легкое/ЛА} — см. рисунок 9, — представляя из себя зависимость Больцмановского типа, которая

описывает различные физиологические процессы, линейные на начальном этапе, а затем переходящие в практически горизонтальную асимптоту. Достоверность ее оказалась такова, что, имея в виду показатель систолического давления в правом желудочке, индекс {Легкое/ЛА} фактически можно использовать как номограмму, для его неинвазивной оценки по данным МРТ ОГК в Т1-ВИ.

По патофизиологической сути эта зависимость означает, что в отсутствие значимых препятствий кровотоку на уровне крупных сосудов (а ТЭЛА крупных артерий у наших пациентов не было) увеличение физической плотности ткани легкого, которую отражает Т1-ВИ, определяется нарастанием систолического давления в правом желудочке, что высказывалось по данным сцинтиграфических перфузионных исследований [12, 13].

Обсуждение

Формирование легочной артериальной гипертензии при широком круге поражений легких и сердеч-

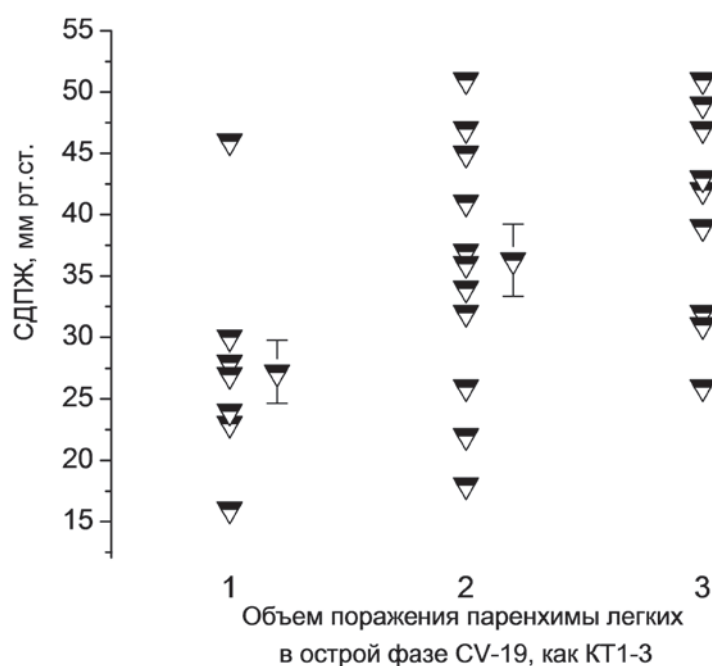


Рис. 7. Распределение величин СДПЖ (в мм рт. ст.) в сроки 3,5–7 месяцев после перенесенной ковид-ассоциированной пневмонии, в зависимости от объема поражения легких (как КТ1–3) в острой фазе ковид-ассоциированной пневмонии

Рядом со столбцами распределения индивидуальных значений приведены средние значения по группе $\pm$ ошибка среднего.

Figure 7. Distribution of the values of systolic pressure in the right ventricle (in mmHg) in terms of 3.5–7 months after COVID-associated pneumonia, depending on the volume of lung damage (as CT1–3) in the acute phase of COVID-associated pneumonia

Next to the columns of the distribution of individual values, the mean values for the group $\pm$ error of the mean are given.

но-сосудистой системы достаточно давно доказано и считается одним из важных факторов ухудшения функционального прогноза и прогноза жизни [2].

Роль тромбоэмболии ветвей ЛА при ковид-ассоциированных поражениях разного клинического характера, их взаимосвязь с цитокиновым штормом и развитием летальных осложнений COVID-19 была выявлена практически с начала ковидной эпидемии [3] и убедительно установлена использованием лучевых методов в исследованиях отечественной школы В. И. Амосова [12, 13]. Для изучения состояния легочной паренхимы в большинстве исследований использовался аппарат и технологии рентгеновской КТ, которые позволяют уверенно выявить очаговые поражения при COVID-19, формирование и затем разрешение воспалительных очагов [3]. Однако в отношении детальных высокочувствительных проспективных оценок состояния легочной паренхимы как таковой показатель рентгеновской плотности — основной при проведении рентгеновской КТ — малоинформативен и позволяет достоверно оценить формирование только уже грубых рубцовых изменений [14, 15]. Патофизио-

логически для оценки состояния альвеолокапиллярного и гистематического барьеров легочной ткани — весьма чувствительным методом является ингаляционная сцинтиграфия легких [16], но, к сожалению, за время ковидной эпидемии этим методом были получены лишь единичные пионерские результаты, свидетельствующие о повреждении альвеолокапиллярного барьера и изменениях в легочном интерстиции [12].

Между тем, технологии МР-томографической визуализации оказываются на ранних стадиях процессов формирования соединительной ткани в различных органах и системах весьма чувствительными к ним и, в частности — в T1-ВИ [6, 7, 11]. Поэтому продемонстрированное здесь нами применение T1-ВИ легких в оценке тяжести легочной артериальной гипертензии представляет собой понятное методическое решение для рутинных лучевых исследований легких и грудной клетки в целом, не только в связи с частными исследованиями ковид-ассоциированных поражений легкого, но и в дальнейшем при других клинических и патофизиологических ситуациях.

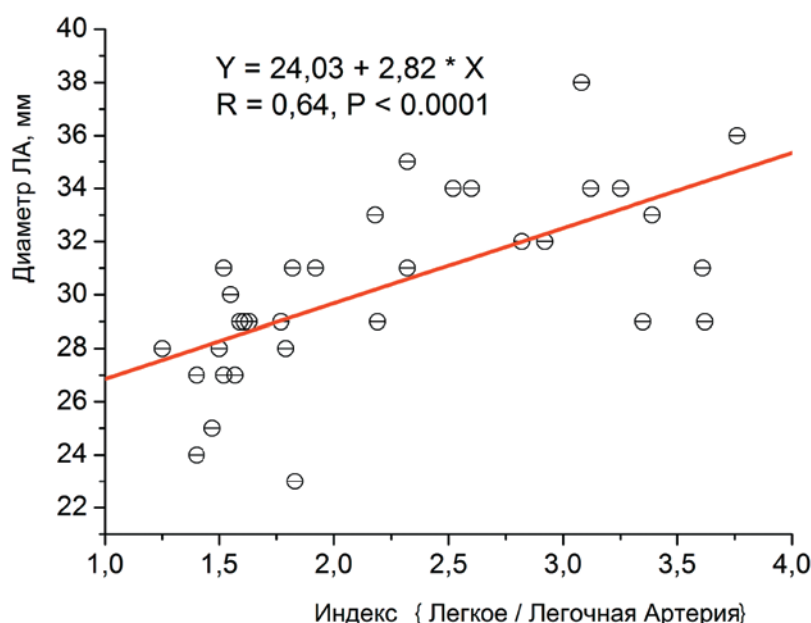


Рис. 8. Корреляционная зависимость анатомического диаметра — поперечника внутреннего просвета легочной артерии, от индекса соотношения интенсивности T1-ВИ МРТ органов грудной клетки {Легкое/ЛА}

Линейная зависимость имела наибольший коэффициент корреляции по сравнению с другими математическими функциональными зависимостями.

Figure 8. Correlation dependence of the anatomical diameter — the diameter of the internal lumen of the pulmonary artery, on the intensity ratio index T1-WI MRI of the chest organs {Lung/LA}

The linear dependence had the highest correlation coefficient compared to other mathematical functional dependencies.

Мы не имели возможности морфологически подтвердить взаимосвязь усиления T1-ВИ с фиброзированием при ковид-ассоциированной пневмонии, но ранее, в «доковидные времена», такая взаимосвязь предполагалась и доказывалась [17, 18].

Усиление диффузных изменений ткани легкого у наших постковидных пациентов было тесно связано с наличием у них субсегментарных эмболических эпизодов (рис. 2, табл. 1). Это согласуется с ранее представленными нами данными о системном мультифакторном характере генеза легочных рентгенологических синдромов при COVID-19 [6]. Однако для детального подтверждения и развития этой концепции необходимо продолжение текущих исследований с сопоставлением параметров свертывающей системы крови и функции эндотелия у таких пациентов в их связи с картиной МРТ ОГК.

Из сопоставления данных о показателе выраженности диффузного фиброзирования паренхимы легкого в T1-ВИ {Легкое/ЛА} со степенью расширения легочной артерии и повышением СДПЖ

(табл. 1, рис. 5–9) обоснованно сделать вывод о последовательном характере патофизиологической цепочки — «ТЭЛА мелких ветвей в остром периоде ковид-ассоциированной пневмонии в сочетании с диффузной фибротизацией паренхимы легкого — формирование устойчивой легочной артериальной гипертензии». Ранее такие предположения высказывались [7, 19, 20], однако именно регулярная количественная оценка, выполненная здесь, позволяет относиться к предположению доказательно.

Необходимо здесь методологически отметить, что наш способ расчета индекса {Легкое/ЛА} и протокол T1-ВИ были отобраны в результате исходных пилотных оценок различных протоколов и методов обведения участков легких или легких в целом. Зона, расположенная на уровне легочной артерии, за пределами структур корня легкого, оказывается свободной от гравитационных воздействий на перераспределение легочного кровообращения, а выбранный нами режим T1-ВИ с синхронизацией по дыханию практически не имел артефактов, обусловленных неравномер-

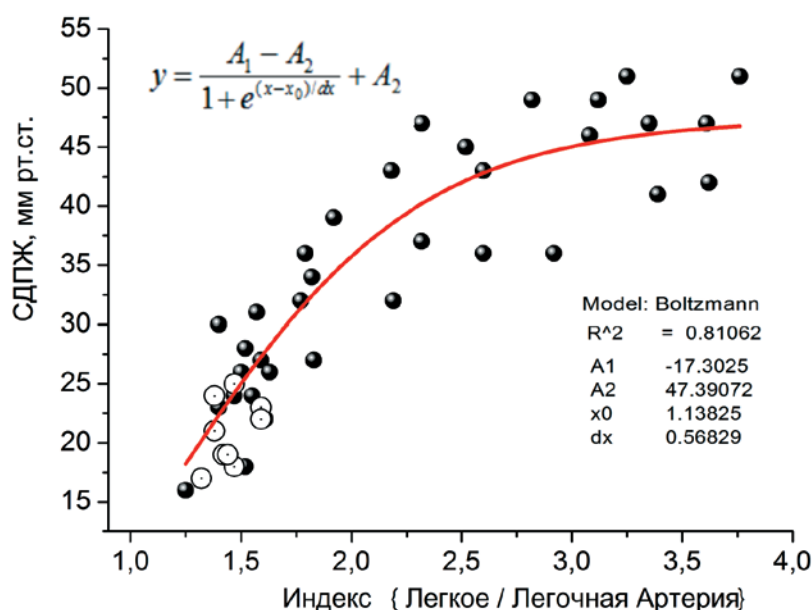


Рис. 9. Корреляционная зависимость показателя систолического давления в правом желудочке индекса соотношения интенсивности T1-ВИ МРТ органов грудной клетки {Легкое / ЛА}

Сплошные кружки представляют пациентов с постковидной патологией легких, а пустые — лиц контрольной группы. Представленная здесь функция Больцмана наиболее точно описывала характер зависимости, у других зависимостей (линейной и др.), коэффициент корреляции $R < 0,5$, хотя и достоверен.

Figure 9. Correlation dependence of the systolic pressure in the right ventricle on the T1-WI intensity index of the MRI of the chest organs {Lung / LA}

Solid circles represent patients with post-covid lung pathology, and empty ones represent control group individuals. The Boltzmann function presented here most accurately described the nature of the dependence, for other dependencies (linear, etc.), the correlation coefficient $R < 0.5$, although it is significant.

ной глубиной дыхания у пациентов, что снимает большинство методических вопросов.

Наша начальная, приведенная здесь статистика, конечно же, требует дальнейшего исследования. В первую очередь это касается более широкого охвата групп пациентов, перенесших COVID-19, особенно — страдавших сочетанной предшествовавшей патологией, как легочной — еще до COVID-19, так и сердечно-сосудистой, и опухолевыми поражениями различного характера и тяжести. В нашем случае об эффектах коморбидности различных заболеваний на зависимость СДПЖ и индекса {Легкое/ЛА} судить достоверно трудно, но обоснованно считать их в нашем случае небольшими и, вероятно, пренебрежимыми с патофизиологических позиций. Действительно, у наших пациентов тяжесть коронарной недостаточности была минимальна, а артериальная гипертензия — контролировалась медикаментозно. Далее, у всех наших пациентов сердечный ритм на момент исследования был синусовым, так что влияние сердечных факторов на формирование постковидной легочной гипертензии можно считать минимальным, а усиленное диффузное формирование соединительной ткани в исходе ковидной инфекции, проявляющееся ростом индекса {Легкое/ЛА} при T1-ВИ, — определяющим.

Кроме того, оценка показателей интенсивности T1-ВИ с длинными TR, в области паренхимы легких, а также уточняющих их показателей абсолютных величин времен релаксации T1 и T2 при различных патологических состояниях, не связанных с вирусным ковид-ассоциированным поражением, представляет в перспективе и более клинико-методический, и практический клинический интерес в различных по генезу фиброзирующих поражениях легких.

Однако, **в заключение**, уже представленные здесь данные дают основание полагать, что МР-томографическое исследование органов грудной клетки в T1-ВИ позволяет оценить степень постковидных воспалительно-фиброзирующих интерстициальных изменений в толще ткани легких и прогнозировать наличие ранних форм повышения легочного артериального давления и формирования ЛАГ. Взаимосвязь диффузных изменений паренхимы легкого с мелкоочаговыми субсегментарными эпизодами ТЭЛА у постковидных пациентов с формирующейся ЛАГ требует в дальнейшем большего клинического внимания к данному синдрому.

Конфликт интересов / Conflict of interest

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

Финансирование / Funding

Исследование выполнено без дополнительной финансовой поддержки. / No financial support declared.

Список литературы / References

1. Akimkin VG, Semenenko TA, Ugleva SV, et al. COVID-19 in Russia: Epidemiology and Molecular Genetic Monitoring. Annals of the Russian academy of medical sciences. 2022; 77(4):254–260. In Russian [Акимкин В.Г., Семененко Т.А., Углева С.В. и др. COVID-19 в России: эпидемиология и молекулярно-генетический мониторинг. Вестник Российской академии медицинских наук. 2022; 77(4):254–260]. DOI: 10.15690/vramn2121.
2. Starodubov VI, Beregovykh VV, Akimkin VG, et al. COVID-19 in Russia: Evolution of Views on the Pandemic. Report II // Annals of the Russian academy of medical sciences. 2022; 77(4):291–306. In Russian [Стародубов В.И., Береговых В.В., Акимкин В.Г. и др. COVID-19 в России: эволюция взглядов на пандемию. Сообщение 2. Вестник Российской академии медицинских наук. 2022; 77(4):291–306]. DOI: 10.15690/vramn2122.
3. Ignatenko GA, Pervak MB, Ussov WYu, et al. Computed tomographic evaluation of the lung changes in COVID-19 after 4–5 months: comparison with the results of the study in the acute period of the disease and clinical data. Arkhiv klinicheskoy i eksperimental'noy meditsiny. 2022; 31(2):112–118. In Russian [Игнатенко Г.А., Первак М.Б., Усов В.Ю. и др. Компьютерно-томографическая оценка изменений в легких при COVID-19 спустя 4–6 месяцев: сопоставление с результатами исследования в остром периоде заболевания и клиническими данными. Архив клинической и экспериментальной медицины. 2022; 31(2): 112–118].
4. Kurushina OV, Barulin AE. Effects of COVID-19 on the central nervous system. Zhurnal Nevrologii i Psikhatrii imeni S. S. Korsakova. 2021; 121(1):9297. In Russian [Курушина О.В., Барулин А.Е. Поражение центральной нервной системы при COVID-19. Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2021; 121(1):9297]. DOI: 10.17116/jnevro202112101192.
5. Korsakov IN, Karonova TL, Konradi AO, et al. Prediction of fatal outcome in patients with confirmed COVID-19. Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. 2022; 22(5): 970–981. In Russian [Корсаков И.Н., Каронова Т.Л., Конради А.О. и др. Прогнозирование летального исхода у пациентов с установленным диагнозом COVID-19 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022; 22(5): 970–981]. DOI: 10.17586/2226-1494-2022-22-5-970-981.
6. Kobelev E, Bergen TA, Tarkova AR, et al. COVID-19 as a cause of chronic pulmonary hypertension: pathophysiological rationale and potential of instrumental

investigations. Cardiovascular Therapy and Prevention. 2021; 20(5):2844. In Russian [Кобелев Е., Берген Т.А., Таркова А.Р. и др. COVID-19 как причина хронической легочной гипертензии: патофизиологическое обоснование и возможности инструментальной диагностики. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021; 20(5):2844]. DOI: 10.15829/1728-8800-2021-2844.

7. Ussov WYu, Nudnov NV, Ignatenko GA, et al. Primary and prospective imaging of the chest using magnetic resonance imaging in patients with viral lung damage in COVID-19. Medical Visualization. 2020; 24(4):11–26. In Russian [Усов В.Ю., Нуднов Н.В., Игнатенко Г.А. и др. Первичная и проспективная визуализация грудной клетки при магнитно-резонансной томографии у пациентов с вирусным поражением легких при COVID-19. Медицинская визуализация. 2020; 24(4): 11–26]. DOI: 10.24835/1607-0763-2020-4-11-26.

8. Melekhov AV, Sayfullin MA, Petrovichev VS, et al. Association of Computer Tomography Features Of COVID-19 with Outcomes, Clinical and Laboratory Parameters. The Russian Archives of Internal Medicine. 2021; 11(6): 447–456. In Russian [Мелехов А.В., Сайфуллин М.А., Петровичев В.С. и др. Сопоставление данных компьютерной томографии с исходами, клиническими и лабораторными характеристиками пациентов с COVID-19. Архивъ внутренней медицины. 2021; 11(6): 447–456]. DOI: 10.20514/2226-6704-2021-11-6-447-456.

9. Alekhin MN. Echocardiography possibilities and limitations in pulmonary artery and heart right chambers pressure estimation. Ultrasound and functional diagnostics. 2012; (6):106–116. In Russian [Алехин М.Н. Возможности и ограничения эхокардиографии в оценке давления в легочной артерии и правых камерах сердца// Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2012; (6):106–116].

10. Kazymly AV, Ryzhkov AV, Simakova MA, et al. Value of Two Dimensional Echocardiography for Assessment of Disease Severity in Patients With Pulmonary Hypertension. Cardiology. 2016; 56(1):25–30. In Russian [Казымлы А.В., Рыжков А.В., Симакова М.А. и др. Значение двухмерной эхокардиографии в оценке степени тяжести больных с легочной гипертензией. Кардиология. 2016; 56(1): 25–30]. DOI 10.18565/cardio.2016.1.25-30.

11. Brel NK, Gruzdeva OV, Kokov AN, et al. Relationship of coronary calcinosis and local fat deposits in patients with coronary artery disease. Complex problems of cardiovascular disease. 2022; 11(3):51–63. In Russian [Брель Н.К., Груздева О.В., Коков А.Н. и др. Взаимосвязь кальциноза коронарных артерий и локальных жировых депо у пациентов с ишемической болезнью сердца. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2022; 11(3):51–63]. DOI: 10.17802/2306-1278-2022-11-3-51-63.

12. Zolotnitskaya VP, Amosov VI, Speranskaya AA, et al. Single photon emission computed tomography of the lungs

in patients with a new coronavirus infection // Diagnostic radiology and radiotherapy. 2021; 12(4):65–73. In Russian [Золотницкая В.П., Амосов В.И., Сперанская А.А. и др. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография легких у пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию. Лучевая диагностика и терапия. 2021; 12(4):65–73]. DOI: 10.22328/2079-5343-2021-12-4-65-73.

13. Zolotnitskaya VP, Amosov VI, Titova ON, et al. 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 Russian [Золотницкая В.П., Амосов В.И., Титова О.Н. и др. Нарушения микроциркуляции в легких по данным перфузионной ОФЭКТ у пациентов в постковидном периоде. REJR 2021; 11(2):8–18]. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-125-136.

14. Usov WYu, Vorobyova VO, Nudnov NV, et al. Magnetic resonance imaging assessment of interstitial post-traumatic lung injury and its relationship with pulmonary arterial hypertension. Congress of the Russian Society of Radiologists and Radiologists, St. Petersburg. 2021; 263–264. In Russian [Усов В.Ю., Воробьева В.О., Нуднов Н.В. и др. Магнитно-резонансная томографическая оценка интерстициального постковидного поражения легких и его взаимосвязи с легочной артериальной гипертензией. Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов, СПб. 2021:263–264].

15. Kory P, Kanne JP. SARS-CoV-2 organising pneumonia: ‘Has there been a widespread failure to identify and treat this prevalent condition in COVID-19?’. BMJ Open Respir Res. 2020; 7(1):e000724. DOI: 10.1136/bmjresp-2020-000724.

16. Lishmanov YuB, Krivonogov NG, Ageeva TS, et al. Nuclear evaluation of alveolar capillary permeability for differential diagnosis of pulmonary infiltrates. Pulmonologiya. 2011; (2):60–63. In Russian [Лишманов Ю.Б., Кривонов Н.Г., Агеева Т.С. и др. Радионуклидная оценка альвеолярно-капиллярной проницаемости для дифференциальной диагностики легочного инфильтрата. Пульмонология. 2011; (2):60–63]. DOI: 10.18093/0869-0189-2011-0-2-724-731.

17. Lukina OV, Amosov VI, Balanyuk EA, et al. Atypical radiological manifestations of new coronavirus infection. Practical pulmonology. 2020; (3):106–111. In Russian [Лукина О.В., Амосов В.И., Баланюк Э.А. и др. Атипичные лучевые проявления новой коронавирусной инфекции. Практическая пульмонология. 2020; (3):106–111].

18. Akhadov TA, Guryakov SYu, Ublinsky MV. Magnetic resonance imaging in study of lungs. Medical Visualization. 2019; (4):10–23. In Russian [Ахадов Т.А., Гурьяков С.Ю., Ублинский М.В. Магнитно-резонансная томография в исследовании легких. Медицинская визуализация. 2019; (4):10–23]. DOI: 10.24835/1607-0763-2019-4-10-23.

19. Pavlova OS, Volkov DV, Gulyaev MV, et al. Magnetic resonance imaging of the lungs on fluorine 19 nuclei with application of gas perfluorocyclobutane/ Medical physics. 2017; 76(4):59–64. In Russian [Павлова О.С., Волков Д.В., Гуляев М.В. и др. Магнитно-резонансная визуализация легких на ядрах фтора-19 с применением газа перфторциклобутана. Медицинская физика. 2017; 76(4):59–64].

20. Pershina ES, Cherniaev AL, Samsonova MV, et al. Comparison of the CT patterns and pulmonary histology in patients with COVID-19. Medical Visualization. 2020; 24(3):37–53. In Russian [Першина Е.С., Черняев А.Л., Самсонова М.В. и др. Сопоставление рентгенологической и патоморфологической картины легких у пациентов с COVID-19. Медицинская визуализация. 2020; 24(3):37–53]. DOI: 10.24835/1607-0763-2020-3-37-53.

Информация об авторах:

Васильцева Оксана Ярославовна, д.м.н., ведущий научный сотрудник, центр хирургии аорты, коронарных и периферических артерий, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е. Н. Мешалкина»;

Игнатенко Григорий Анатольевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой пропедевтической и внутренней медицины, ректор, Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького;

Берген Татьяна Андреевна, д.м.н., ведущий научный сотрудник, заведующий научно-исследовательским отделом лучевой и инструментальной диагностики, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е. Н. Мешалкина»;

Таркова Александра Романовна, к.м.н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е. Н. Мешалкина»;

Нуднов Николай Васильевич, д.м.н., профессор, кафедра рентгенологии и радиологии, ФГБОУ ДПО «РМАНПО»; профессор, кафедра онкологии и рентгенодиагностики, РУДН; заместитель директора по научной работе, заведующий НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии, ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России;

Первак Марина Борисовна, д.м.н., профессор, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького;

Воробьева Валентина Олеговна, врач-рентгенолог, младший научный сотрудник, НМИЦ онкологии им. Н. Н. Блохина;

Лишманов Юрий Борисович, д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, профессор-консультант, ведущий инженер, лаборатория № 31 ядерного реактора Учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор», Инженерная школа ядерных технологий, Национальный исследовательский Томский политехнический университет;

Усов Владимир Юрьевич, д.м.н., профессор, главный научный сотрудник, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е. Н. Мешалкина»;

Чернявский Александр Михайлович, д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, генеральный директор, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е. Н. Мешалкина».

Author information:

Oksana Ya. Vasil'tseva, D.M.Sc., leading researcher, Center for aortic, coronary and peripheral artery surgery, Meshalkin National Medical Research Center;

Grigori A. Igantenko, D.M.Sc., Professor, Head of the Department of internal medicine, Rector, M. Gorky Donetsk National Medical University;

Tatiana A. Bergen, D.M.Sc., leading researcher, Head of the Research Department of Radiology and Instrumental Diagnostics, Meshalkin National Medical Research Center;

Aleksandra R. Tarkova, Ph.D., leading researcher, Meshalkin National Medical Research Center;

Nikolay V. Nudnov, D.M.Sc., Professor, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Vice-Director (Science); Professor, Department of Oncology and Roentgen Radiology, People's Friendship University of Russia; Chief of the research institute of complex diagnostics of diseases and radiotherapy, "Russian Scientific Center of Roentgenoradiology";

Marina B. Pervak, D.M.Sc., Professor, Department of Radiology and Radiation Therapy, M.Gorky Donetsk National Medical University;

Valentina O. Vorobyeva, Radiologist, Junior Researcher, N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology;

Yuri B. Lishmanov, D.M.Sc., Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Consultant Professor, Leading Engineer of Laboratory No. 31 of the Nuclear Reactor, Research Nuclear Reactor Training Center, Engineering School of Nuclear Technologies, National Research Tomsk Polytechnic University;

Wladimir Yu. Ussov, D.M.Sc., Professor, Chief Researcher, Meshalkin National Medical Research Center;

Alexander M. Cherniavsky, D.M.Sc., Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director General, Meshalkin National Medical Research Center.