

DOI:10.26104/NNTIK.2023.98.79.023

Эмилов Б.Э., Сорокин А.А., Жакыпов М.А., Чубаков Т.Ч.,  
Веснин С.Г., Горянин И.И.

РАДИОТЕРМОМЕТРИЯНЫН ЖАРДАМЫ МЕНЕН КОВИД-19ДУН  
ТАТААЛ ПНЕВМОНИЯСЫ МЕНЕН ООРУГАНДАРГА  
МОНИТОРИНГ ЖҮРГҮЗҮҮ

Эмилов Б.Э., Сорокин А.А., Жакыпов М.А., Чубаков Т.Ч.  
Веснин С.Г., Горянин И.И.

МОНИТОРИНГ БОЛЬНЫХ COVID-19 С ОСЛОЖНЕННОЙ  
ПНЕВМОНИЕЙ С ПОМОЩЬЮ РАДИОТЕРМОМЕТРИИ

B. Emilov, A. Sorokin, M. Jakyrov, T. Chubakov,  
S. Vesnin, I. Goryanin

MONITORING OF PATIENTS WITH COVID-19 COMPLICATED  
BY PNEUMONIA USING RADIOTHERMOMETRY

УДК: [616.98:578.834.1:616.24-002]-073

Рентген жана көкүрөк органдарынын компьютердик томографиясы (КТ ОГК) КОВИД-19 менен ооруган бейтаптарда пневмонияны аныктоонун ишенимдүү сүрөттөө ыкмасы катары кеңири каралат, бирок өпкөнүн жабыркагандарындагы инфильтрациянын чечилишине мониторинг жүргүзүү үчүн мүмкүн болгон альтернатива катары өпкөнүн радиотермометриясына кызыгуу өсүүдө. Бул изилдөөнүн максаты – КОВИД-19 пневмониясы менен ооруган бейтаптарды көзөмөлдөө. Негизги топто (I топ) 142 бейтап, көзөмөл тобунда (II топ) көкүрөк клеткасынын рентген/КТ жана өпкөнүн РТМ текшерүүсүнөн өткөн 50 дени сак адам болгон. III топто (COVID-19дан кийинки) ошол эле бейтаптар болгон, бирок пневмония менен татаалдашкан КОВИД-19 менен ооруган 142 бейтаптын 100ү гана текшерилген жана аларда өпкөнүн РТМ өлчөнүп, сүрөт тартуу ыкмаларынын контролдук сүрөттөрү менен өлчөнгөн, айрыкандан кийин 2 айдан 4 айга чейинки мезгил. Теринин жана өпкөнүн температурасы 14 пунктта, анын ичинде 2 кошумча көзөмөл пунктунда, буга чейин белгиленген ыкма менен өлчөнгөн. Өпкөнүн температурасынын маалыматтары РТМ MWR2020 аппаратын колдонуу менен алынган (MMWR LTD, Эдинбург, Улуу Британия). Радиометрия (РТМ) жогорку мониторинг жүргүзүү жөндөмдүүлүгүн көрсөтөт, мунун өпкөнүн биринчи өлчөөсүндө 98% жана КОВИД-19 пневмониясы менен ооруган бейтаптардын экинчи мониторингинде 83% болжолдуу ыктымалдыгы тастыкталат. РТМ КОВИД-19 пневмониясы менен ооруган бейтаптын абалын көзөмөлдөө үчүн баалуу курал боло алат, айрыкча көкүрөк КТсы жеткиликсиз, орунсуз же каршы көрсөткүч болгон учурларда.

**Негизги сөздөр:** пневмония, рентгенограмма, радиометрия, компьютердик томография, көкүрөк органдары, радиотермометрия, температураны өлчөө.

Методы рентгенограммы и компьютерной томографии (КТ) и органов грудной клетки (ОГК) широко рассматриваются как надежный метод визуализации для выявления пневмонии у пациентов с КОВИД-19, но растет интерес к радиотермометрии легких как возможной альтернативе мониторинга рассасывания инфильтрации при поражении легких. Целью данного исследования является мониторинг пациентов, имеющих КОВИД-19 осложненной пневмонией. В основной группе (I группа) 142 пациентов, в контрольной группе (II группа) 50 здоровых людей, которым выполнены рентгенограммы / КТ ОГК и радиометрии (РТМ) легких. В III группе (пост-КОВИД-19) были те же пациенты, но было обследовано только 100 из 142

больных, перенесших КОВИД-19 осложненной пневмонией, которым измерили РТМ легких с контрольным снимками методов визуализации в период от 2-х до 4-х месяцев после выздоровления. Температура кожи и легких была измерена в 14 точках, включая 2 дополнительные контрольные точки, с использованием уже установленного метода. Данные о температуре легких были получены с помощью аппарата РТМ MWR2020 (MMWR LTD, Эдинбург, Великобритания). РТМ демонстрирует высокую мониторинговую способность, о чем свидетельствуют его вероятность прогнозирования в 98% при первом измерении легких, и 83% при втором мониторинге пациентов, перенесших COVID-19 осложненной пневмонией. РТМ легких может стать ценным инструментом для контроля состояния пациента перенесший COVID-19 осложненную пневмонию, особенно в ситуациях, когда КТ ОГК недоступна, нецелесообразна или противопоказана.

**Ключевые слова:** пневмония, рентген, радиометрия, компьютерная томография, органы грудной клетки, радиотермометрия, измерение температуры.

Methods of radiography and computed tomography (CT) and chest organs (OGC) are widely considered as a reliable imaging method for detecting pneumonia in patients with COVID-19, but there is growing interest in radiothermometry of the lungs as a possible alternative to monitoring the resorption of infiltration in lung lesions. The purpose of this study is to monitor patients with COVID-19 complicated by pneumonia. In the main group (Group I) there were 142 patients, in the control group (Group II) there were 50 healthy people who underwent X-rays/CT scans of the chest and RTM of the lungs. In group III (post-COVID-19) there were the same patients, but only 100 of 142 patients who had COVID-19 complicated by pneumonia were examined, and they had the RTM of the lungs measured with control images of imaging methods in the period from 2 to 4 months after recovery. Skin and lung temperatures were measured at 14 points, including 2 additional control points, using an already established method. Lung temperature data were obtained using an RTM MWR2020 device (MMWR LTD, Edinburgh, UK). RTM demonstrates high monitoring ability, as evidenced by its predictive probability of 98% in the first measurement of the lungs, and 83% in the second monitoring of patients with COVID-19 complicated pneumonia. Lung RTM can be a valuable tool for monitoring the condition of a patient who has had COVID-19 complicated by pneumonia, especially in situations where chest CT is unavailable, inappropriate or contraindicated.

**Key words:** pneumonia, X-ray, radiometry, computed tomography, chest organs, radiothermometry, temperature measurement.

**Введение.** В декабре 2019 года в Ухань, Китай, была обнаружена группа больных с пневмонией неясного генеза [1]. В последующие недели этот неизвестный вирус постепенно распространялся по всему миру [2]. В январе 2020 года исследовательский институт в Китае объявил, что вирусная пневмония – это новый коронавирус – SARS-CoV-2, который Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) позже назвала болезнью COVID-19 [3].

Первичные симптомы инфекции SARS-CoV-2 аналогичны симптомам других коронавирусов, таких как лихорадка, кашель и усталость, и имеют тенденцию проявляться как гриппоподобные симптомы [4]. Тем не менее, некоторые группы высокого риска, такие как пожилые люди и больные с иммунодефицитом подвергаются большому риску возникновения серьезных респираторных заболеваний, включая острый респираторный дистресс-синдром, интерстициальная пневмония и полиорганная недостаточность, которые могут привести к различной степени одышки и специфическим радиологическим признакам [5,6]. Двусторонняя интерстициальная инфильтрация является наиболее распространенным проявлением COVID-19 в легких, что может существенно нарушить баланс между вентиляцией и перфузией [7,8]. В тяжелых случаях это может привести к дыхательной недостаточности и даже смерти. Рентгенограмма и компьютерная томография органов грудной клетки (КТ ОГК) были предпочтительным инструментом диагностики и мониторинга COVID-19 [9], но логистические проблемы, связанные с транспортировкой пациентов и дезинфекцией рентген-кабинетов поставили серьезные задачи. Более того, КТ ОГК недоступна во многих странах с низким и средним уровнем дохода, что еще больше ограничивает ее полезность в качестве диагностического инструмента. К тому же рентгеновские методы визуализации имеют ряд противопоказаний для некоторых групп пациентов и не представляется быть основным методом для мониторинга больных с пневмонией [10,11].

В отдаленных районах Кыргызстана рентгенограмма органов грудной клетки (рентгенограмма ОГК) и КТ ОГК не всегда доступны для диагностики пневмонии, учитывая острую нехватку рентгенологов, задается вопрос, о предложении новых альтернативных методов диагностики, как например метод радиотермометрии (РТМ) для больных COVID-19 осложненной пневмонией, который ранее использовался в практической медицине [12,13].

Обоснованием использования РТМ является повышение температуры тканей вследствие воспалительного процесса. Локальные изменения синтеза и высвобождения иммунных медиаторов и реакция на травму приводит к изменению биохимических процессов и локальным температурным изменениям.

Действительно, имеющиеся данные свидетельствуют о том, что местное воспаление повышает температуру, что может быть обнаружен с помощью РТМ, который размещается на коже над воспаленным участком [14].

Само устройство состоит из двухдиапазонного датчика со встроенной антенной для одновременного измерения температуры внутренних органов и температура кожи. Это безопасная методика, не имеющая побочных эффектов, так как измеряет только радиотепловое излучение пациента. Система точна с точностью до  $\pm 0,2$  °C и позволяет обнаружить разницу температур в мягких тканях на глубине от 3 до 7 см и область измерения обычно составляет 3-5 см в диаметре [15].

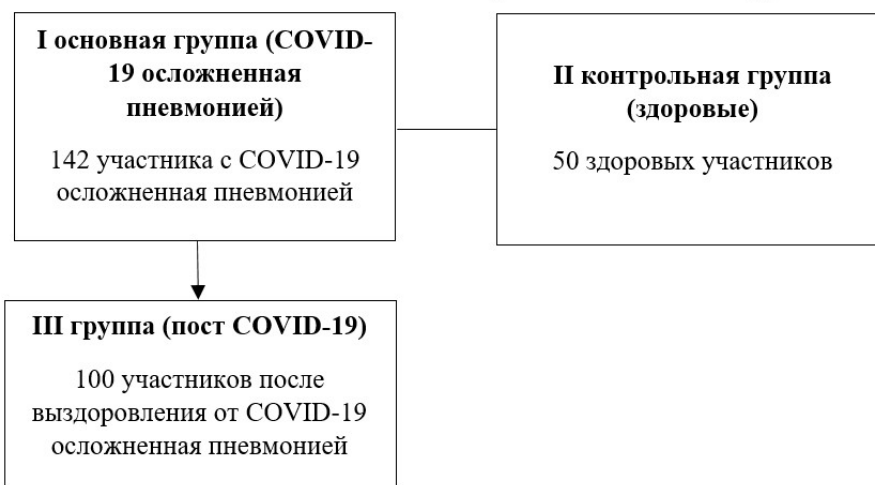
Учитывая вышеизложенное, было целесообразно провести сравнительное исследование, нацеленное на мониторинг пациентов, имеющих COVID-19 с осложненной пневмонией с использованием РТМ, рентгенограмму и КТ ОГК.

**Материалы и методы исследования.** Возраст в основной группе (I группа) 142 пациентов от 20 до 87 лет, из них 67 мужчин и 75 женщин. В контрольной группе (II группа) 50 здоровых людей из них 24 мужчин и 26 женщин в возрасте от 20 до 70 лет. В III группе (пост-COVID-19) были те же пациенты в период от 2-х до 4-х месяцев после выздоровления, но были обследованы только 100 из 142 больных, из которых 53 мужчин и 47 женщин в возрасте от 20 до 74 лет перенесших COVID-19 осложненной пневмонией от 2-х до 4-х месяцев после выздоровления. Всем выполнена рентгенограмма/КТ ОГК и РТМ легких в амбулаторных условиях. Также было проведено клиническое обследование с аускультацией легких, измерение температуры тела и ПЦР тест на SARS-CoV-2.

Для проведения метода РТМ на грудной клетке участника имелись 30 точек, из которых 28 симметричных (R1-R14, L1-L14) и 2 контрольные точки (FR и BK). Данное исследование было проведено по разработанной методике, и процедура заняла максимум 10 минут [16]. Данные о температуре легких и кожи были получены с помощью MWR2020 устройство (ранее РТМ-01-РЭС) MMWR Ltd., Эдинбург, Великобритания. MWR2020 работает в диапазоне частот 3400-3900 МГц. Полоса пропускания сверхвысоких частот (СВЧ) составляет 500 МГц [17].

Поддержание постоянной влажности и уровень температуры в медицинских кабинетах является важным фактором, поскольку различия в этих показателях потенциально могут повлиять на точность проводимых измерений. Гарантируя, что эти условия были одинаковыми во всех измерениях, исследователи смогли минимизировать этот источник ошибок. Влажность в помещении колебалась от 40% до 50% для всех измерений, а температура в помещении поддерживалась в пределах 22-25 °C.

**Исследование было разделено на 3 группы**



Прогноз о наличии воспаления легких или ее отсутствии, используя метод РТМ легких были сделаны с использованием следующего уравнения логистической регрессии [18]:

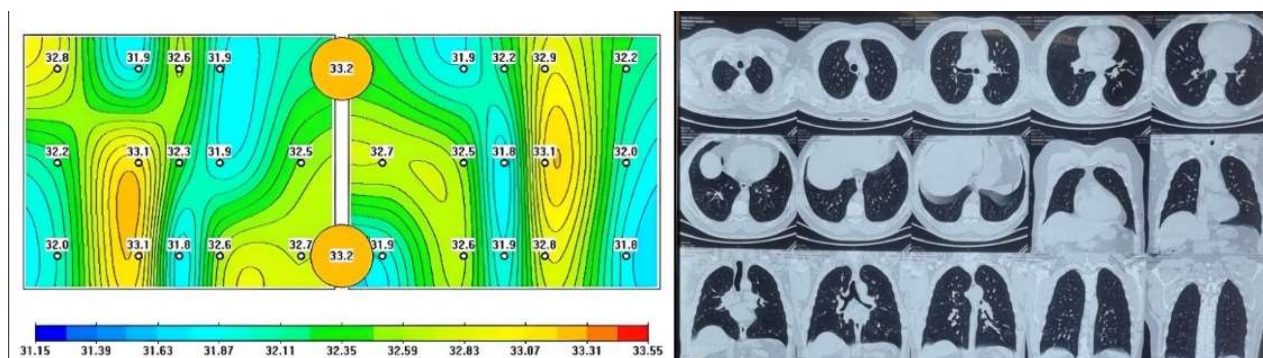
$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

Здесь:  $p$  – вероятность, что у респондента имеется пневмония;  $z$  –  $-159.613 + 1.677 \times$  средняя температура кожи +  $3.188 \times$  средняя внутренняя температура.

**Результаты и обсуждение.** При проведенных рентген-изображениях легких у больных из основной группы наблюдались обширные участки инфильтрации с обеих сторон. Сканирование легких с помощью

РТМ у той же основной группы, способны обнаружить и обозначить участки воспаления, используя разные цвета, которые обозначают свежие участки воспаления или его отсутствие. Здоровым пациентам была проведена аналогичная процедура, которую сравнивали по данным РТМ исследования легких во всех указанных точках.

На РТМ изображении здоровых участников видны желтые и зеленые участки, где не видно красных участков активного воспаления, что подтверждается данными КТ ОГК (рис. 1). Желтые области могут обозначать места с более высокими значениями температуры, а зеленые – с относительно небольшими перепадами температур. Важно отметить, что красных пятен здесь нет.



**Рис. 1.** Изображение РТМ легких и КТ ОГК здорового человека.

При сравнении рентген-изображений с симптомом «матового стекла» и РТМ легких были получены сходные данные о наличии воспаления как красных участков на РТМ у больных с COVID-19 осложненной пневмонией, что мы можем видеть на рисунке 2.

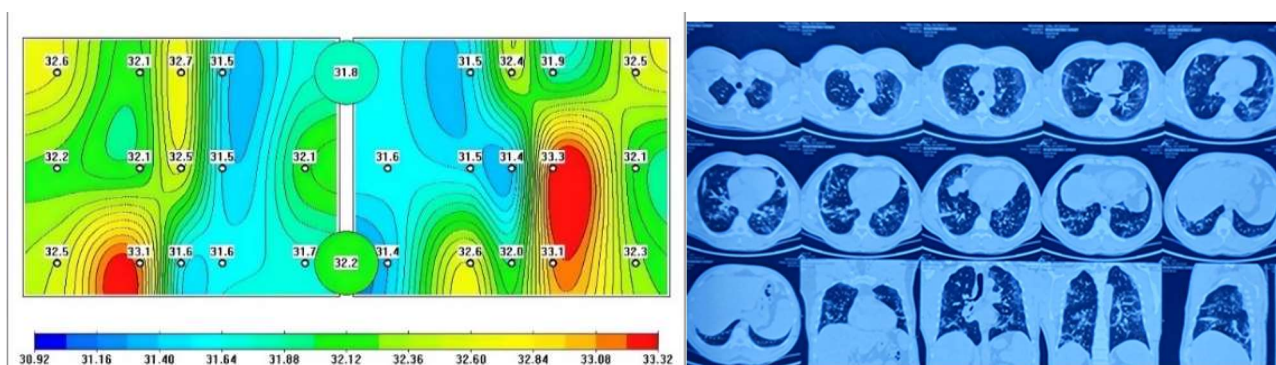


Рис. 2. Изображение PTM легких и КТ ОГК пациента COVID-19 с осложненной пневмонией.

В таблицах 1, 2 и 3 представлена описательная статистика средних значений по всем точкам измерения для каждого субъекта. Как видно из таблиц, существуют весьма существенные различия как между поверхностной и внутренней температурой, так и между больными и здоровыми людьми. Это, в свою очередь, позволяет надеяться на возможность использования этих параметров для прогноза заболевания.

Таблица 1

Описательные статистики (контрольная группа-здоровые)

	количество	минимум	максимум	среднее	Стандартное отклонение	95% Доверительный интервал	
						Нижняя граница	Верхняя граница
Средняя внутренняя температура	50	31,57	34,08	32,60	0,52	32,45	32,74
Средняя кожная температура	50	29,59	33,06	31,37	0,84	31,13	31,60

Таблица 2

Описательные статистики (основная группа – COVID-19 с осложненной пневмонией)

	количество	минимум	максимум	среднее	Стандартное отклонение	95% Доверительный интервал	
						Нижняя граница	Верхняя граница
Средняя внутренняя температура	142	32,19	36,85	34,23	0,84	34,09	34,37
Средняя кожная температура	142	30,06	36,07	33,21	0,78	33,08	33,34

Таблица 3

Описательные статистики (группа после выздоровления от COVID-19 с осложненной пневмонией)

	количество	минимум	максимум	средняя	Стандартное отклонение	95% Доверительный интервал	
						Нижняя граница	Верхняя граница
Средняя внутренняя температура	100	29,85	35,48	33,19	1,10	32,97	33,41
Средняя кожная температура	100	28,20	34,19	29,85	1,60	29,53	30,17

Как видно из рисунка 3 только 3 (6%) участника из 50 были отнесены моделью в группу больных, остальные 47 (94%) были подтверждены с помощью PTM, что не имеют пневмонии. Таким образом, модель показывает хорошие результаты по определению здоровых респондентов из контрольной группы.



Рис. 3. Распределение больных из контрольной группы - здоровые.

Распределение участников в основной группе на рисунке 4 показывает, что модель очень хорошо распознает больных с пневмонией 139 человек или 98,6%, из 142, после которого были проведены повторные исследования РТМ легких для III группы, где из 100 участников были распознаны 83% – как выздоровевшие (рис. 5).



Рис. 4. Распределение респондентов в I группе больных COVID-19 с осложненной пневмонией – группе больные.



Рис. 5. Распределение респондентов в III группе (пост-COVID-19).

Однако необходимо отметить, что такое снижение распознавания пневмонии или ее отсутствия для РТМ, может объясняться тем, что участники возможно еще не полностью восстановились после COVID-19 с осложненной пневмонией, хотя рентген-изображения говорят об отсутствии воспаления легких в этой группе.

РТМ продемонстрировал достаточную точность в мониторинге пневмонии у пациентов с COVID-19 после выздоровления. Однако важно отметить, что РТМ не заменяет другие методы визуализации, такие как рентгенограмма и КТ ОГК, которые остаются основными методами диагностики COVID-19 с осложненной пневмонией. Хотя РТМ может быть полезным дополнением к другим методам диагностики, он еще не получил широкого распространения в клинической

практике. КТ ОГК предпочтительнее, поскольку она обеспечивает более детальное представление легких и может обнаружить даже небольшие участки поражения легких, включая области, которые могут быть не видны на рентгенограмме ОГК. Важно помнить, что любой диагностический тест, включая РТМ и методы визуализации, имеют свои ограничения и диагноз не следует ставить исключительно на основании результатов одного теста. При постановке диагноза также следует учитывать клиническое заключение и другие факторы, такие как симптомы пациента, анамнез и другие результаты анализов, включая ПЦР на SARS-CoV2 [19].

Кроме того, воздействие ионизирующего рентгеновского излучения может вызывать беспокойство,

особенно при многократном или длительном использовании и в таких ситуациях РТМ может предложить свой метод для мониторинга состояния больных после выписки из стационара, чтобы лучше контролировать рассасывание воспалительной инфильтрации легочной ткани. Таким образом, выбор метода визуализации зависит от конкретной клинической ситуации и должен быть основан на тщательном рассмотрении преимуществ и ограничений каждого метода, а также рисков и преимуществ для пациента [20,21]. РТМ – это простой диагностический тест, который предоставляет удобный вариант исследования легких пациентов COVID-19 осложненной пневмонией, как у постели больного, так и в других полевых условиях. Однако важно отметить, что РТМ может обнаруживать разницу температур только в периферических зонах легких, поэтому он может быть неэффективен при исследовании глубоких поражений легких [15].

**Выводы.** РТМ – это неинвазивный, безвредный и простой в использовании диагностический инструмент. Данный метод является многообещающим инструментом диагностики пневмонии у пациентов с COVID-19 и может быть использован для отслеживания картины рассасывания пневмонии без радиационного воздействия. В результате РТМ может стать более распространенным инструментом в клинической практике в будущем.

#### Литература:

- Huang P., Liu T., Huang L., et al. Use of chest CT in combination with negative RT-PCR assay for the 2019 novel coronavirus but high clinical suspicion. *Radiology* 2020, 295, 22-23.
- Phan L.T., Nguyen, T.V., Luong, Q.C., Nguyen, T.V., Nguyen, H.T., Le, H.Q., Nguyen, T.T., Cao, T.M., Pham, Q.D. Importation and human-to-human transmission of a novel coronavirus in Vietnam. *N. Engl. J. Med.* 2020, 382, 872-874.
- World Health Organisation (WHO). Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Situation Report e 28. (accessed on 19 Apr. 2020).
- Wu D., Wu, T., Liu Q., Yang Z. The SARS-CoV-2 outbreak: What we know. *Int. J. Infect. Dis.* 2020, 94, 44-48.
- Liu K., Chen Y., Lin R., Han K. Clinical feature of COVID-19 in elderly patients: A comparison with young and middle-aged patients. *J. Infect.* 2020, 80, e14-e18.
- Lake M.A. What we know so far: COVID-19 current clinical knowledge and research. *Clin. Med.* 2020, 20, 124-127.
- Guan W.J., Ni Z.Y., Hu Y. et al. Clinical characteristics of Coronavirus disease 2019 in China. *N. Engl. J. Med.* 2020, 382, 1708-1720.
- Al Johani S., Hajeer A.H. MERS-CoV diagnosis: An update. *J. Infect. Public Health* 2016, 9, 216-219.
- Christian M. Jensen Junia, Costa C. et al. Chest x-ray imaging score is associated with severity of COVID-19 pneumonia: the MBrixia score. *Sci Rep.* 2022 Dec 5;12(1):21019. doi: 10.1038/s41598-022-25397-7. PMID:36471093 PMCID: PMC9722 655.
- Zhou S., Wang Y., Zhu T., Xia L. CT features of coronavirus disease 2019 (COVID-19) pneumonia in 62 patients in Wuhan, China. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2020, 214, 1287-1294.
- Chung M., Bernheim A. et al. CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV). *Radiology* 2020, 295, 200-230.
- Rachana S. Akki, Kavitha Arunachalam. Breast tissue phantoms to assist compression study for cancer detection using microwave radiometry. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2014; 2014: 1119-22. doi:10.1109/EMBC.2014.6943791. PMID:255 70159
- Raiko J., Koskensalo K., Sainio T. Imaging-based internal body temperature measurements: The journal Temperature toolbox. *Temperature* 2020, 7, 363-388.
- Laskari K., Siores E., Tektonidou M.G., Sfrikakis P.P. Microwave Radiometry for the Diagnosis and Monitoring of Inflammatory Arthritis. *Diagnostics* 2023, 13, 609.
- Manual MMWR2020 (RTM-01-RES). Available online: www.mmwr.co.uk (accessed on 26 January 2016).
- Osmonov B., Ovchinnikov L. et al. Passive Microwave Radiometry for the Diagnosis of Coronavirus Disease 2019 Lung Complications in Kyrgyzstan. *Diagnostics* 2021, 11, 259.
- Vesnin S.G., Sedankin M.K. et al. Portable microwave radiometer for wearable devices. *Sens. Actuators A Phys.* 2021, 318, 112506.
- Berik Emilov, Aleksander Sorokin, et al. Diagnostic of Patients with COVID-19 Pneumonia Using Passive Medical Microwave Radiometry (MWR). *Diagnostics* 2023, 13, 2585. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13152585>.
- Ai T., Yang Z., Hou H. et al. Correlation of chest CT and RTPCR testing in coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: A report of 1014 cases. *Radiology* 2020, 296, E32-E40.
- Jacobi A., Chung M., Bernheim A., Eber C. Portable chest X-ray in coronavirus disease-19 (COVID-19): A pictorial review. *Clin. Imaging* 2020, 64, 35-42.
- Bhosale Y.H., Patnaik K.S. Application of Deep Learning Techniques in Diagnosis of COVID-19 (Coronavirus): A Systematic Review. *Neural Process Lett.* 2022, 55, 3551-3603.