

Роль спектрального анализа звуков кашля в диагностике COVID-19

А.В. Будневский^{✉1}, Е.С. Овсянников¹, С.Н. Авдеев², О.Н. Чопоров¹, С.Н. Фейгельман¹, А.В. Максимов³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, Воронеж, Россия;

²ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия;

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия

Аннотация

Цель. Оценить возможности использования спектрального анализа звуков кашля в диагностике новой коронавирусной инфекции COVID-19.

Материалы и методы. Проведена спектральная туссофонобарография у 218 пациентов, больных COVID-19 [48,56% – мужчины, 51,44% – женщины, средний возраст – 40,2 (32,4; 51,0) года], и у 60 здоровых лиц [50% – мужчины, 50% – женщины, средний возраст – 41,7 (32,2; 53,0) года] с индуцированным кашлем. Кашель индуцировался ингаляцией раствора лимонной кислоты в концентрации 20 г/л через небулайзер. Запись производилась с помощью контактного микрофона, расположенного на специальном штативе на расстоянии 15–20 см от лица испытуемого. Полученные записи обрабатывались в компьютерной программе, после чего проводился спектральный анализ звуков кашля при помощи алгоритмов преобразования Фурье. Оценивались следующие параметры звуков кашля: продолжительность кашлевого акта (мс), отношение энергии низких частот (60–600 Гц) к энергии высоких частот (600–6000 Гц), частота максимальной энергии звука кашля (Гц).

Результаты. После статистической обработки выяснено, что параметры звука кашля больных COVID-19 отличаются от параметров кашля здоровых лиц. Полученные данные подставлены в разработанное регрессионное уравнение. Округленное до целых полученное число имело следующую интерпретацию: «0» – нет COVID-19, «1» – есть COVID-19.

Заключение. Методика показала высокие уровни чувствительности и специфичности. Помимо этого метод характеризуется достаточной простотой применения и не требует дорогостоящего оборудования, поэтому может применяться на практике для своевременной диагностики COVID-19.

Ключевые слова: спектральный анализ звуков кашля, COVID-19, кашель

Для цитирования: Будневский А.В., Овсянников Е.С., Авдеев С.Н., Чопоров О.Н., Фейгельман С.Н., Максимов А.В. Роль спектрального анализа звуков кашля в диагностике COVID-19. Терапевтический архив. 2024;96(3):228–232. DOI: 10.26442/00403660.2024.03.202636

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2024 г.

ORIGINAL ARTICLE

The role of spectral analysis of cough sounds in the diagnosis of COVID-19

Andrey V. Budnevsky^{✉1}, Evgeny S. Ovsyannikov¹, Sergey N. Avdeev², Oleg N. Choporov¹, Sofya N. Feigelman¹, Alexey V. Maksimov³

¹Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia;

²Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia;

³Voronezh State University, Voronezh, Russia

Abstract

Aim. To evaluate the possibility of using spectral analysis of cough sounds in the diagnosis of a new coronavirus infection COVID-19.

Materials and methods. Spectral tussophonobarography was performed in 218 patients with COVID-19 [48.56% men, 51.44% women, average age 40.2 (32.4; 51.0)], in 60 healthy individuals [50% men, 50% women, average age 41.7 (32.2; 53.0)] with induced cough (by inhalation of citric acid solution at a concentration of 20 g/l through a nebulizer). The recording was made using a contact microphone located on a special tripod at a distance of 15–20 cm from the face of the subject. The resulting recordings were processed in a computer program, after which spectral analysis of cough sounds was performed using Fourier transform algorithms. The following parameters of cough sounds were evaluated: the duration of the cough act (ms), the ratio of the energy of low frequencies (60–600 Hz) to the energy of high frequencies (600–6000 Hz), the frequency of the maximum energy of the cough sound (Hz).

Results. After statistical processing, it was found out that the parameters of the cough sound of COVID-19 patients differ from the cough of healthy individuals. The obtained data were substituted into the developed regression equation. Rounded to integers, the resulting number had the following interpretation: "0" – there is no COVID-19, "1" – there is COVID-19.

Conclusion. The technique showed high levels of sensitivity and specificity. In addition, the method is characterized by sufficient ease of use and does not require expensive equipment, therefore it can be used in practice for timely diagnosis of COVID-19.

Keywords: spectral analysis of cough sounds, COVID-19, cough

For citation: Budnevsky AV, Ovsyannikov ES, Avdeev SN, Choporov ON, Feigelman SN, Maksimov AV. The role of spectral analysis of cough sounds in the diagnosis of COVID-19. *Terapevticheskii Arkhiv (Ter. Arkh.)*. 2024;96(3):228–232. DOI: 10.26442/00403660.2024.03.202636

Информация об авторах / Information about the authors

[✉]Будневский Андрей Валериевич – д-р мед. наук, проф., зав. каф. факультетской терапии ФГБОУ ВО «ВГМУ им. Н.Н. Бурденко». E-mail: budnev@list.ru

[✉]Andrey V. Budnevsky. E-mail: budnev@list.ru; ORCID: 0000-0002-1171-2746

Овсянников Евгений Сергеевич – д-р мед. наук, проф. каф. факультетской терапии ФГБОУ ВО «ВГМУ им. Н.Н. Бурденко»

Evgeny S. Ovsyannikov. ORCID: 0000-0002-8545-6255

Введение

Новая коронавирусная инфекция COVID-19 – это острая респираторная инфекция с преимущественным поражением верхних дыхательных путей, вызываемая одноцепочечным РНК-содержащим вирусом SARS-CoV-2 [1]. Клинически заболевание проявляется следующими симптомами: лихорадка (99%), астеновегетативные проявления (70%), сухой кашель (59%), анорексия (40%), миалгия (35%), одышка (31%). Иногда встречаются такие симптомы, как боль в горле, ринорея, головная боль и желудочно-кишечные проявления (тошнота, диарея) [2]. Инкубационный период составляет 14 дней, однако чаще всего заболевание возникает на 4–5-й день после контакта с больным [3]. Основными методами диагностики COVID-19 на данный момент являются полимеразная цепная реакция (ПЦР) с обратной транскрипцией, которая позволяет на ранних сроках заболевания выявить РНК SARS-CoV-2, иммунохроматографические исследования, выявление специфических иммуноглобулинов в крови. Вспомогательными методами диагностики являются общий анализ крови, биохимический анализ крови, С-реактивный белок, коагулограмма, пульсоксиметрия, электрокардиография, компьютерная томография (КТ) легких, ультразвуковое исследование легких и плевральных полостей [4].

Материалы и методы

Основную группу составили 218 пациентов [48,56% – мужчины, 51,44% – женщины, средний возраст 40,2 (32,4; 51,0) года], больных среднетяжелой формой COVID-19 (положительный ПЦР-тест на SARS-CoV-2) с поражением легочной паренхимы менее 25% по данным КТ грудной клетки, без предшествующих хронических заболеваний органов дыхания, находившихся на стационарном лечении в ковидном отделении БУЗ ВО «ВГКБ №2 им К.В. Федяевского» с сентября по декабрь 2021 г. В группу сравнения вошли 60 здоровых лиц [50% – мужчины, 50% – женщины, средний возраст 41,7 (32,2; 53,0) года] без предшествующих хронических заболеваний органов дыхания и без COVID-19 (отрицательный ПЦР-тест на SARS-CoV-2).

Для оценки временных и спектральных характеристик звука кашля у испытуемых проводили спектральную тусофонобарографию (СТФБГ), позволяющую оценивать продолжительность и распределение звуков кашля по частотам. Запись звука осуществлялась при помощи микрофона трансформаторного типа с полосой пропускания 60 Гц – 24 КГц, сопротивлением 300 Ом и чувствительностью 90 Дб, подключенного к входу звуковой платы. Перед исследованием каждого испытуемого обучили правильному выполнению маневра кашля. Необходимо было достичь, но не превысить определенную силу кашля, для того,

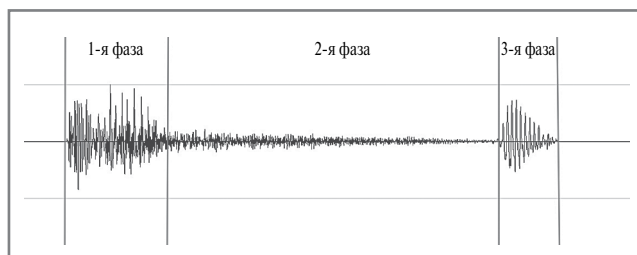


Рис. 1. Визуальное разделение аудиограммы кашля на фазы.

Fig. 1. Visual separation of the cough audiogram into phases.

чтобы у всех была приблизительно одинаковая амплитуда, поэтому микрофон располагали параллельно полу на расстоянии 15–20 см от лица с помощью специально разработанного кронштейна, позволяющего изменять расстояние от микрофона до лица и от микрофона до крышки стола. Таким образом, требования для сравнения спектров частот были выполнены. Для уменьшения влияния шума и предотвращения наложения были отфильтрованы все звуковые сигналы с помощью фильтров Баттерворда с полосой пропускания от 60 до 6000 Гц (48 дБ/октава) [5].

У больных регистрировали спонтанный кашель. У здоровых лиц проводилась регистрация кашля, индуцированного ингаляцией раствора лимонной кислоты в концентрации 20 г/л через небулайзер [6].

Обработка звуков кашля, зарегистрированных в свободном акустическом поле, проводилась в компьютерной программе Sound Forge 15 (MAGIX Software GmbH, Germany). Кашлевые каскады (при наличии) разделены на отдельные кашлевые акты. Громкость была нормализована до 6 дБ. Частота сэмпирования составила 48 тыс. Гц. Каждый кашлевой акт был разделен на 3 фазы по следующему принципу (**рис. 1**):

- переход между 1 и 2-й фазами характеризуется снижением амплитуды звуковой волны на 50% и более в пределах 20 мс;
- переход между 2 и 3-й фазами характеризуется повышением амплитуды звуковой волны на 50% и более в пределах 20 мс.

Первая фаза соответствовала быстрому открытию голосовой щели, из которой под давлением выходил воздух. Вторая фаза соответствовала интервалу постоянного потока воздуха через открытую голосовую щель. Заключительная, 3-я фаза (непостоянная) возникала вследствие задержки потока воздуха закрытием голосовой щели и последующей периодической вибрации голосовых связок [7].

После этого проводился спектральный анализ звуков кашля с использованием алгоритма быстрого преобразо-

Информация об авторах / Information about the authors

Авдеев Сергей Николаевич – акад. РАН, д-р мед. наук, проф., зав. каф. пульмонологии лечебного фак-та ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

Чопоров Олег Николаевич – д-р мед. наук, проф., проректор по цифровой трансформации ФГБОУ ВО «ВГМУ им. Н.Н. Бурденко»

Фейгельман Софья Николаевна – ординатор каф. факультетской терапии ФГБОУ ВО «ВГМУ им. Н.Н. Бурденко»

Максимов Алексей Владимирович – ст. препод. каф. цифровых технологий ФГБОУ ВО ВГУ

Sergey N. Avdeev. ORCID: 0000-0002-5999-2150

Oleg N. Choporov. ORCID: 0000-0002-3176-499X

Sofya N. Feigelman. ORCID: 0000-0003-4128-6044

Alexey V. Maksimov. ORCID: 0000-0002-3682-4891

Таблица 1. Сравнительный анализ исследуемых параметров звуков кашля в основной группе и группе сравнения

Table 1. Comparative analysis of the studied parameters of cough sounds in the main group and the comparison group

Параметр	Основная группа (n=218)	Группа сравнения (n=60)	p
T, мс	342,5 (277,0; 394,0)	400,5 (359,0; 457,0)	0,0000
T ₁ , мс	45,0 (36,0; 57,0)	45,5 (37,5; 54,0)	0,9111
T ₂ , мс	227,5 (190,0; 274,0)	264,0 (203,0; 326,5)	0,0095
T ₃ , мс	81,0 (61,0; 113,0)	103,5 (72,0; 133,0)	0,0046
Q	0,3095 (0,223; 0,454)	0,4535 (0,3725; 0,619)	0,0000
Q ₁	0,392 (0,261; 0,564)	0,4565 (0,329; 0,7415)	0,0183
Q ₂	0,2035 (0,121; 0,313)	0,295 (0,2225; 0,414)	0,0000
Q ₃	0,736 (0,479; 1,174)	1,0065 (0,7745; 1,2115)	0,0005
F _{max} , Гц	463,0 (274,0; 761,0)	347 (253,0; 488,0)	0,0013
F _{max1} , Гц	440,0 (284,0; 619,0)	397,5 (266,5; 555,0)	0,1862
F _{max2} , Гц	851,0 (374,0; 1507,0)	711,0 (202,5; 1519,0)	0,0764
F _{max3} , Гц	313,0 (240,0; 400,0)	318,5 (226,0; 431,5)	0,6109

Примечание. T – общая продолжительность кашлевого акта; T₁ – продолжительность 1-й фазы кашля; T₂ – продолжительность 2-й фазы кашля; T₃ – продолжительность 3-й фазы кашля; Q – отношение энергии низких и средних частот (60–600 Гц) к энергии высоких частот (600–6000 Гц) всего кашлевого акта; Q₁ – отношение энергии низких и средних частот (60–600 Гц) к энергии высоких частот (600–6000 Гц) 1-й фазы кашля; Q₂ – отношение энергии низких и средних частот (60–600 Гц) к энергии высоких частот (600–6000 Гц) 2-й фазы кашля; Q₃ – отношение энергии низких и средних частот (60–600 Гц) к энергии высоких частот (600–6000 Гц) 3-й фазы кашля; F_{max} – частота максимальной энергии всего звука кашлевого акта; F_{max1} – частота максимальной энергии звука 1-й фазы кашля; F_{max2} – частота максимальной энергии звука 2-й фазы кашля; F_{max3} – частота максимальной энергии звука 3-й фазы кашля.

вания Фурье¹. Оценивались следующие временно-частотные параметры:

- продолжительность кашля (T) и каждой фазы по отдельности (T₁, T₂, T₃), мс;
- отношение энергии низких и средних частот (60–600 Гц) к энергии высоких частот (600–6000 Гц) кашлевого акта полностью (Q) и каждой фазы в отдельности (Q₁, Q₂, Q₃);

- частота максимальной энергии звука кашлевого акта полностью (F_{max}) и каждой фазы по отдельности (F_{max1}, F_{max2}, F_{max3}), Гц.

Математическая и статистическая обработка данных проводилась с помощью компьютерной программы Statgraphics Centurion 18 (Statgraphics Technologies, Inc., USA). Нормальность распределения данных оценивалась с помощью нормализованных коэффициентов эксцесса и асимметрии. Численные значения параметров представлены в виде медианы, в скобках указаны 25 и 75% перцентили. Сравнение двух выборок по количественным показателям проводилось с применением рангового U-теста Манна-Уитни. Различия считались статистически достоверными при уровне значимости p<0,05.

Результаты

Основная группа и группа сравнения не различались по полу и возрасту. В табл. 1 приведены исследуемые параметры обеих групп.

Исходя из данных табл. 1, можно сделать вывод: кашель больных COVID-19 характеризуется меньшей продолжительностью и преобладанием более высоких частот по сравнению с индуцированным кашлем здоровых лиц. Различия звуков кашля по временно-частотным параметрам могут иметь определенную диагностическую и дифференциально-диагностическую ценность.

Полученные параметры спектрального анализа подставлялись в разработанное регрессионное уравнение. Третья фаза звука кашля является непостоянной (отсутствует у 10–20% лиц вне зависимости от наличия или отсутствия той или иной патологии), поэтому показатели данной фазы не учитывались в уравнении, чтобы не дискредитировать метод у испытуемых с такой индивидуальной особенностью.

Значение интегрального показателя Y округлялось до целого числа – 0 или 1; при значении Y, равном «0», определялось отсутствие у субъекта исследования коронавирусной инфекции COVID-19, при значении Y, равном «1», определялось наличие у субъекта исследования коронавирусной инфекции COVID-19².

$$Y = e^{\text{reg}} / (1 + e^{\text{reg}}),$$

$$\begin{aligned} \text{где } \text{reg} = & -88,7576 - 0,519581T + 2,53078T_1 + 0,730702T_2 + \\ & + 184,136Q + 20,9326Q_1 - 91,6469Q_2 + 0,141838F_{\text{max}} - \\ & - 0,0363499F_{\text{max1}} + 0,00409225F_{\text{max2}} - 0,0000720845T^2 + \\ & + 0,00159507TT_1 + 0,00194451TT_2 + 0,85427TQ - 0,474393TQ_1 - \\ & - 0,597649TQ_2 - 0,000322988TF_{\text{max}} + 0,000271569TF_{\text{max1}} - \\ & - 0,0000125667TF_{\text{max2}} - 0,00227204T^2 - 0,00467295T_1T_2 - \\ & - 5,53114T_1Q + 1,90685T_1Q_1 + 1,89723T_1Q_2 - 0,000221993T_1F_{\text{max}} - \\ & - 0,000472206T_1F_{\text{max1}} - 0,000266677T_1F_{\text{max2}} - 0,00187947T_2^2 - \\ & - 1,39386T_2Q + 0,317866T_2Q_1 + 0,894015T_2Q_2 - \\ & - 0,0000675111T_2F_{\text{max}} - 0,000165248T_2F_{\text{max1}} - \\ & - 0,0000421008T_2F_{\text{max2}} - 59,636Q^2 + 240,242QQ_1 + 59,7047QQ_2 - \\ & - 0,135556QF_{\text{max}} + 0,0577676QF_{\text{max1}} + 0,00293814QF_{\text{max2}} - \\ & - 28,8388Q_1^2 - 257,268Q_1Q_2 + 0,00585586Q_1F_{\text{max}} - \\ & - 0,03006Q_1F_{\text{max1}} + 0,00977002Q_1F_{\text{max2}} + 80,345Q_2^2 + \\ & + 0,186628Q_2F_{\text{max}} - 0,036913Q_2F_{\text{max1}} - \\ & - 0,0184737Q_2F_{\text{max2}} + 0,0000320108F_{\text{max}}^2 - 0,0000551759F_{\text{max}}F_{\text{max1}} + \\ & + 0,0000213366F_{\text{max}}F_{\text{max2}} + 0,000011152F_{\text{max1}}^2 + \\ & + 0,00000588814F_{\text{max1}}F_{\text{max2}} + 0,00000324033F_{\text{max2}}^2. \end{aligned}$$

¹Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022665391/ 15.08.2022. Будневский А.В., Овсянников Е.С., Авдеев С.Н. и др. Спектральный анализ кашля. Режим доступа: <https://onlinepatent.ru/software/2022665391/> Ссылка активна на 18.10.2022.

²Патент РФ на изобретение №2776535/ 21.07.2022. Бюл. №21. Будневский А.В., Овсянников Е.С., Авдеев С.Н. и др. Способ экспресс-выявления коронавирусной инфекции COVID-19 с помощью метода спектрального анализа звуков кашля. Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/277/2776535.html>. Ссылка активна на 18.10.2022.

Таблица 2. Результаты верификации диагностической модели**Table 2. Results of verification of the diagnostic model**

Группа обследованных	Диагноз по модели	
	COVID-19	здоровые лица
Больные COVID-19 (n=218)	214 человек (98,2%)	4 человека (1,8%)
Здоровые лица (n=60)	4 человека (6,7%)	56 человек (93,3%)

Результаты верификации диагностической модели представлены в табл. 2.

Практическая реализуемость предлагаемого способа иллюстрируется примерами из клинической практики.

Пример 1

Больной М., 44 года, с жалобами на выраженную слабость, повышение температуры тела до 37,5°C, сухой кашель обратился в поликлинику по месту жительства. Было выяснено, что за 4 дня до появления указанных симптомов пациент контактировал с больным COVID-19. При объективном исследовании патологических изменений не выявлено. Пациенту выполнили ПЦР-диагностику мазка из носоглотки на COVID-19, который оказался положительным. При КТ-исследовании обнаружилось несколько очагов уплотнения по типу «матового стекла», занимающих 5–10% паренхимы легких. Была проведена СТФБГ; по результатам исследования определили показатели: $T = 340,1$ мс; $T_1 = 42,0$ мс; $T_2 = 220,0$ мс; $Q = 0,309$; $Q_1 = 0,391$; $Q_2 = 0,203$; $F_{\max} = 450,0$ Гц; $F_{\max1} = 339,0$ Гц; $F_{\max2} = 847,0$ Гц.

На основании полученных данных решено регрессионное уравнение

$$Y = e^{\text{reg}} / (1 + e^{\text{reg}}) = 0,997772444,$$

где $\text{reg} = -88,7576 - 0,519581 \times 340,1 + 2,53078 \times 42,0 + 0,730702 \times T_2 + 184,136 \times 0,309 + 20,9326 \times 0,391 - 91,6469 \times 0,203 + 0,141838 \times 450,0 - 0,0363499 \times 339,0 + 0,00409225 \times 847,0 - 0,0000720845 \times 340,1^2 + 0,00159507 \times 340,1 \times 42,0 + 0,00194451 \times 340,1 \times 220,0 + 0,85427 \times 340,1 \times 0,309 - 0,474393 \times 340,1 \times 0,391 - 0,597649 \times 340,1 \times 0,203 - 0,000322988 \times 340,1 \times 450,0 + 0,000271569 \times 340,1 \times 339,0 - 0,0000125667 \times 340,1 \times 847,0 - 0,00227204 \times 42,0^2 - 0,00467295 \times 42,0 \times 220,0 - 5,53114 \times 42,0 \times 0,309 + 1,90685 \times 42,0 \times 0,391 + 1,89723 \times 42,0 \times 0,203 - 0,000221993 \times 42,0 \times 450,0 - 0,000472206 \times 42,0 \times 339,0 - 0,000266677 \times 42,0 \times 847,0 - 0,00187947 \times 220,0^2 - 1,39386 \times 220,0 \times 0,309 + 0,317866 \times 220,0 \times 0,391 + 0,894015 \times 220,0 \times 0,203 - 0,0000675111 \times 220,0 \times 450,0 - 0,000165248 \times 220,0 \times 339,0 - 0,0000421008 \times 220,0 \times 847,0 - 59,636 \times 0,309^2 + 240,242 \times 0,309 \times 0,391 + 59,7047 \times 0,309 \times 0,203 - 0,135556 \times 0,309 \times 450,0 + 0,0577676 \times 0,309 \times 339,0 + 0,00293814 \times 0,309 \times 847,0 - 28,8388 \times 0,391^2 - 257,268 \times 0,391 \times 0,203 + 0,00585586 \times 0,391 \times 450,0 - 0,03006 \times 0,391 \times 339,0 + 0,00977002 \times 0,391 \times 847,0 + 80,345 \times 0,203^2 + 0,186628 \times 0,203 \times 450,0 - 0,036913 \times 0,203 \times 339,0 - 0,0184737 \times 0,203 \times 847,0 + 0,0000320108 \times 450,0^2 - 0,0000551759 \times 450,0 \times 339,0 + 0,0000213366 \times 450,0 \times 847,0 + 0,000011152 \times 339,0^2 + 0,00000588814 \times 339,0 \times 847,0 + 0,00000324033 \times 847,0^2 = 6,104620237.$

После округления полученного значения ($Y = 0,997772444$) до целого числа получили 1, что, соответственно, интерпретируется как наличие заболевания (COVID-19).

Пример 2

Больной Д., 39 лет, с жалобами на боли в горле, повышение температуры до 37,5°C, слабость, головную боль, насморк вызвал на дом участкового терапевта. После сбора анамнеза и объективного исследования доктор поставил пациенту диагноз острой респираторной вирусной инфекции и назначил соответствующее лечение. Проведена ПЦР-диагностика мазка из носоглотки в связи с повышенной заболеваемостью COVID-19 в регионе. Результат оказался отрицательным. Проведена СТФБГ; по результатам исследования определили показатели: $T = 400,3$ мс; $T_1 = 45,0$ мс; $T_2 = 247,1$ мс; $Q = 0,4532$; $Q_1 = 0,4565$; $Q_2 = 0,384$; $F_{\max} = 347,0$ Гц; $F_{\max1} = 399,4$ Гц; $F_{\max2} = 800,0$ Гц.

На основании полученных данных решено регрессионное уравнение

$$Y = e^{\text{reg}} / (1 + e^{\text{reg}}) = 0,001672369,$$

где $\text{reg} = -88,7576 - 0,519581 \times 400,3 + 2,53078 \times 45,0 + 0,730702 \times 247,1 + 184,136 \times 0,4532 + 20,9326 \times 0,4565 - 91,6469 \times 0,384 + 0,141838 \times 347,0 - 0,0363499 \times 399,4 + 0,00409225 \times 800,0 - 0,0000720845 \times 400,3^2 + 0,00159507 \times 400,3 \times 45,0 + 0,00194451 \times 400,3 \times 247,1 + 0,85427 \times 400,3 \times 0,4532 - 0,474393 \times 400,3 \times 0,4565 - 0,597649 \times 400,3 \times 0,384 - 0,000322988 \times 400,3 \times 347,0 + 0,000271569 \times 400,3 \times 399,4 - 0,0000125667 \times 400,3 \times 800,0 - 0,00227204 \times 45,0^2 - 0,00467295 \times 45,0 \times 247,1 - 5,53114 \times 45,0 \times 0,4532 + 1,90685 \times 45,0 \times 0,4565 + 1,89723 \times 45,0 \times 0,384 - 0,000221993 \times 45,0 \times 347,0 - 0,000472206 \times 45,0 \times 399,4 - 0,000266677 \times 45,0 \times 800,0 - 0,00187947 \times 247,1^2 - 1,39386 \times 247,1 \times 0,4532 + 0,317866 \times 247,1 \times 0,4565 + 0,894015 \times 247,1 \times 0,384 - 0,0000675111 \times 247,1 \times 347,0 - 0,000165248 \times 247,1 \times 399,4 - 0,0000421008 \times 247,1 \times 800,0 - 59,636 \times 0,4532^2 + 240,242 \times 0,4532 \times 0,4565 + 59,7047 \times 0,4532 \times 0,384 - 0,135556 \times 0,4532 \times 347,0 + 0,0577676 \times 0,4532 \times 399,4 + 0,00293814 \times 0,4532 \times 800,0 - 28,8388 \times 0,4565^2 - 257,268 \times 0,4565 \times 0,384 + 0,00585586 \times 0,4565 \times 347,0 - 0,03006 \times 0,4565 \times 399,4 + 0,00977002 \times 0,4565 \times 800,0 + 80,345 \times 0,384^2 + 0,186628 \times 0,384 \times 347,0 - 0,036913 \times 0,384 \times 399,4 - 0,0184737 \times 0,384 \times 800,0 + 0,0000320108 \times 347,0^2 - 0,0000551759 \times 347,0 \times 399,4 + 0,0000213366 \times 347,0 \times 800,0 + 0,000011152 \times 399,4^2 + 0,00000588814 \times 399,4 \times 800,0 + 0,00000324033 \times 800,0^2 = -6,391840135.$

После округления полученного значения ($Y = 0,001672369$) до целого числа получили 0, что, соответственно, интерпретируется как отсутствие заболевания (COVID-19). По данным исследования методом ПЦР на SARS-CoV-2 мазка из носоглотки – отрицательный тест, т.е. пациент без COVID-19. Таким образом, сделанный вывод подтвердился.

Обсуждение

Своевременная диагностика COVID-19 крайне важна, так как заболевание может приводить к тяжелым осложнениям со стороны сердечно-сосудистой, дыхательной, мочевыделительной, центральной нервной и других систем организма человека [8].

Выявлено, что кашель больных COVID-19 обладает меньшей продолжительностью и преобладанием высоких частот по сравнению с индуцированным кашлем здоровых лиц. Данный феномен может иметь определенную диагностическую и дифференциально-диагностическую ценность, его патанатомическая и патофизиологическая обоснованность требует дальнейшего изучения. Полученные в результате СТФБГ данные подставлены в разработанное регрессионное уравнение. Результат округлялся до целых и интерпретирован следующим образом: «1» – есть COVID-19, «0» – нет COVID-19.

Нехватка диагностических методов, а также стертость клинических проявлений в начале заболевания приводят к несвоевременной диагностике и ухудшению прогноза. Метод СТФБГ не требует дорогостоящего оборудования, характеризуется достаточной простотой выполнения, имеет высокие показатели чувствительности, специфичности, поэтому может использоваться на практике в диагностике COVID-19.

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of

data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Соответствие принципам этики. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, протокол №3 от 21.06.2021. Одобрение и процедуру проведения протокола получали по принципам Хельсинкской конвенции.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia, Protocol №3 of 21.06.2021. The approval and procedure for the protocol were obtained in accordance with the principles of the Helsinki Convention.

Информированное согласие на публикацию. Пациенты подписали форму добровольного информированного согласия на публикацию медицинской информации.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

Список сокращений

КТ – компьютерная томография
ПЦР – полимеразная цепная реакция

СТФБГ – спектральная туссофонобарография

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Хайтович А.Б., Ермачкова П.А. Патогенез COVID-19. *Таврический медико-биологический вестник*. 2020;23(4):113-32 [Khaitovich AB, Ermachkova PA. Pathogenesis OF COVID-19. *Tauride Medico-Biological Bulletin*. 2020;23(4):113-32 (in Russian)]. DOI:10.37279/2070-8092-2020-23-4-113-132
- Wang D, Hu B, Hu C, et al. Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*. 2020;323(11):1061-9. DOI:10.1001/jama.2020.1585
- Guan WJ, Ni ZY, Hu Y, et al. China Medical Treatment Expert Group for Covid-19. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *N Engl J Med*. 2020;382(18):1708-20. DOI:10.1056/NEJMoa2002032
- Qasem A, Shaw AM, Elkamel E, et al. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Diagnostic Tools: A Focus on Detection Technologies and Limitations. *Curr Issues Mol Biol*. 2021;43(2):728-48. DOI:10.3390/cimb43020053
- Семенкова Г.Г., Провоторов В.М., Сычев В.В., и др. Спектральная туссофонобарография – метод оценки обратимости бронхиальной обструкции у больных бронхиальной астмой. *Пульмонология*. 2003;6:32-6 [Semenkova GG, Provotorov VM, Sychev VV, et al. Spectral toussophonobarography is a method for assessing the reversibility of bronchial obstruction in patients with bronchial asthma. *Pulmonology*. 2003;6:32-6 (in Russian)].
- Morice AH, Kitt MM, Ford AP, et al. The effect of gefapixant, a P2X3 antagonist, on cough reflex sensitivity: a randomised placebo-controlled study. *Eur Respir J*. 2019;54(1):1900439. DOI:10.1183/13993003.00439-2019
- Семенкова Г.Г., Провоторов В.М., Овсянников Е.С. Исследование кашля, вызванного гастроэзофагеальной рефлюксной болезнью, с применением методов туссографии и спектральной туссофонобарографии. *Пульмонология*. 2006;6:56-61 [Semenkova GG, Provotorov VM, Ovsyannikov ES. Investigation of cough caused by gastroesophageal reflux disease using the methods of tussography and spectral toussophonobarography. *Pulmonology*. 2006;6:56-61 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2006-6-56-61
- Абдурахимов А.Х., Херай Л.Н., Юсупова Ш.К. COVID-19 и его осложнения. *Re-health journal*. 2021;4(12):61-74 [Abdurakhimov AH, Hergai LN, Yusupova SK. COVID-19 and its complications. *Re-health journal*. 2021;4(12):61-74 (in Russian)].

Статья поступила в редакцию / The article received: 27.10.2022



OMNIDOCTOR.RU