



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-8-29-36>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 615.835.3

## ДЫХАТЕЛЬНАЯ НЕДОСТАТОЧНОСТЬ: ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ И РЕСПИРАТОРНОЙ ПОДДЕРЖКИ

ДАВИДОВСКАЯ Е.И.<sup>1</sup>, ДУБРОВСКИЙ А.С.<sup>1</sup>, ЗЕЛЬМАНСКИЙ О.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Республиканский научно-практический центр пульмонологии и фтизиатрии  
(г. Минск, Республика Беларусь)

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 11 ноября 2020

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

**Аннотация.** Обоснована необходимость ранней диагностики болезней органов дыхания, особенно в условиях пандемии коронавирусной инфекции COVID-19, по средствам пульсоксиметрического скрининга и мониторинга. Показана целесообразность применения портативных пульсоксиметров терапевтами и врачами общей практики. Основными респираторными заболеваниями, сопровождающимися дыхательной недостаточностью, которая может быть своевременно выявлена по средствам пульсоксиметрии, являются хроническая обструктивная болезнь легких и синдром обструктивного апноэ-гипопноэ во сне. Раннее выявление данных заболеваний является актуальной задачей ввиду слабой выраженности симптомов данных заболеваний на ранних стадиях и, как следствие, преобладания поздней диагностики. Отдельного внимания заслуживает проведение пульсоксиметрии для выявления коронавирусной инфекции COVID-19, так как данная инфекция также сопровождается дыхательной недостаточностью. Аргументировано применение концентраторов кислорода и СИПАП-аппаратов с целью терапии дыхательной недостаточности. Подтверждена эффективность назначения длительной кислородной терапии с использованием концентраторов кислорода у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких, СИПАП-терапии с использованием автоматических СИПАП-аппаратов у пациентов с синдромом обструктивного апноэ-гипопноэ во сне с обязательным пульсоксиметрическим мониторингом. Проведен ретроспективный анализ 120 случаев лечения инфекции COVID-19 среднетяжелого и тяжелого течения, осложненной развитием пневмоний. Доказана эффективность применения концентраторов кислорода с целью подачи пациентам кислорода со скоростью потока до 5 л/мин. Установлено, что не более 10 % пациентов нуждались в потоке кислорода скоростью более 5 л/мин. В то же время показана возможность применения СИПАП-аппаратов для проведения неинвазивной вентиляции легких с использованием полнолицевых масок. Отмечена целесообразность применения концентраторов кислорода и СИПАП-аппаратов для реабилитации пациентов, перенесших COVID-19.

**Ключевые слова:** кислородная терапия, СИПАП-терапия, пульсоксиметрия, хроническая обструктивная болезнь легких, апноэ, коронавирусная инфекция COVID-19.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Давидовская Е.И., Дубровский А.С., Зельманский О.Б. Дыхательная недостаточность: техническое обеспечение диагностики и респираторной поддержки. Доклады БГУИР. 2020; 18(8): 29-36.

## RESPIRATORY FAILURE: TECHNICAL MEANS FOR DIAGNOSIS AND RESPIRATORY SUPPORT

ELENA I. DAVIDOVSKAYA<sup>1</sup>, ALEXANDER S. DUBROVSKI<sup>1</sup>, OLEG B. ZELMANSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Republican scientific and practical center for pulmonology and phthisiology (Minsk, Republic of Belarus)

<sup>2</sup>Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 11 November 2020

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

**Abstract.** The necessity of early diagnosis of respiratory diseases, especially in the context of the COVID-19 pandemic, by means of pulse oximetric screening and monitoring has been substantiated. The expediency of using portable pulse oximeters by therapists and general practitioners has been shown. The main respiratory diseases accompanied by respiratory failure, which can be detected in time by pulse oximetry, are the chronic obstructive pulmonary disease and the obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome. Early detection of these diseases is an important task because of the mild symptoms of these diseases in the early stages, and as a result, the prevalence of late diagnosis. Special attention is given to the pulse oximetry for COVID-19 detection, as this infection is also accompanied by respiratory failure. The use of oxygen concentrators and auto CPAP devices for the treatment of respiratory failure as well as rehabilitation has been argued. The effectiveness of the appointment of long-term oxygen therapy using oxygen concentrators for patients with chronic obstructive pulmonary disease, CPAP therapy using automatic CPAP devices for patients with obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome with mandatory pulse oximetry monitoring has been confirmed. The analysis of 120 cases of treatment of moderate and severe COVID-19 cases complicated by the pneumonia has been carried out. The efficiency of the use of oxygen concentrators for supplying oxygen to patients at a flow rate not more than 5 l/min has been proven. It has been found that no more than 10 % of patients needed an oxygen flow rate more than 5 l/min. At the same time, the possibility of using CPAP devices for non-invasive ventilation of lungs using full-face masks has been shown. The expediency of using oxygen concentrators and CPAP devices for the rehabilitation of patients after COVID-19 has been noted.

**Keywords:** oxygen therapy, CPAP-therapy, pulse oximetry, chronic obstructive pulmonary disease, obstructive sleep apnea, COVID-19.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Davidovskaya E.I., Dubrovski A.S., Zelmancki O.B. Respiratory failure: technical means for diagnosis and respiratory support. Doklady BGUIR. 2020; 18(8): 29-36.

### Введение

В связи с увеличением распространенности заболеваний органов дыхания в Республике Беларусь очевидна необходимость в обеспечении раннего выявления, терапии и профилактики данных заболеваний, особенно в условиях пандемии коронавирусной инфекции COVID-19, обусловленной коронавирусом SARS-CoV-2. Отдельного внимания заслуживает вопрос технического обеспечения диагностики и респираторной поддержки пациентов с COVID-19, поскольку данная инфекция поражает в первую очередь легкие и может быть осложнена пневмонией или дыхательной недостаточностью с риском смерти. При этом в период эпидемии COVID-19 не стоит недооценивать опасность традиционных болезней органов дыхания, поскольку пациенты предпочитают меньше посещать лечебные учреждения с целью минимизирования риска инфицирования коронавирусной инфекцией. А принимая во внимание слабо выраженную симптоматику на ранних стадиях и медленное развитие таких заболеваний, как хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) и синдром обструктивного апноэ-гипопноэ во сне (СОАГ), задача их ранней диагностики является весьма актуальной. ХОБЛ представляет собой воспаление и сужение мелких дыхательных путей, которое приводит к появлению хронического кашля, отделению мокроты, прогрессирующей одышке (дыхательной

недостаточности) и быстрой утомляемости. СОАГ – это периодическое прекращение дыхания во время сна из-за спадения стенок дыхательных путей на уровне глотки, которое приводит к храпу, дневной сонливости, усталости, метаболическим нарушениям. Пациенты зачастую в течение долгого времени не уделяют должного внимания данным проявлениям заболевания. В результате несвоевременное выявление и позднее лечение приводят к преобладанию более тяжелых степеней данных заболеваний и, как следствие, к потере трудоспособности, ранней инвалидности и смертности. Каждый четвертый больной ХОБЛ через десять лет становится инвалидом. Следует отметить большое число больных трудоспособного возраста, в то время как, например, ХОБЛ считают болезнью пожилых людей.

Дыхательная недостаточность является основной причиной смертности больных ХОБЛ (38 %). Синдром дыхательной недостаточности характеризуется невозможностью легких поддерживать газовый состав артериальной крови в норме (парциальное напряжение кислорода артериальной крови ( $P_{aO_2}$ ) – не менее 60 мм рт. ст., парциальное напряжение углекислоты ( $P_{aCO_2}$ ) – не более 45 мм рт. ст.). Дыхательной недостаточностью также сопровождаются такие интерстициальные заболевания легких, как бронхиальная астма, СОАГ и др.

### Методика диагностики дыхательной недостаточности

Одним из наиболее практичных методов диагностики дыхательной недостаточности является неинвазивное измерение насыщения (сатурации) гемоглобина артериальной крови кислородом ( $SpO_2$ ) посредством пульсоксиметрии. Такая возможность обусловлена корреляцией показателя  $SpO_2$  с показателем  $P_{aO_2}$ . Значение  $P_{aO_2}$  в норме должно быть в диапазоне 80–100 мм рт. ст. Данному диапазону соответствует диапазон нормы  $SpO_2$  96–100 %. В настоящее время значение  $SpO_2$  определяют с помощью портативного пульсоксиметра, устанавливаемого, как правило, на пальце (рис. 1).



Рис. 1. Портативный пульсоксиметр «Оксимед»  
Fig. 1. Pulse oximeter “Oxymed”

Пульсоксиметр состоит из датчика, который пропускает красное и инфракрасное излучения через палец и определяет количество поглощаемого излучения каждого типа, зависящего от степени оксигенации гемоглобина в тканях, а также дисплея, на котором, в свою очередь, отображаются значения сатурации, частоты пульса и кривая пульса. Таким образом, в среднем за 5–20 с пульсоксиметр позволяет определить значение  $SpO_2$  и установить наличие у пациента синдрома дыхательной недостаточности. В случае необходимости возможно проведение ночного/суточного пульсоксиметрического мониторинга с протоколированием фактов снижения сатурации (десатурации) и их длительности.

### Методика проведения кислородной терапии

На сегодняшний день наиболее обоснованным методом терапии дыхательной недостаточности является применение кислорода с объемной долей не менее 90 %. Цель кислородной терапии заключается в поддержании  $SpO_2 > 90 \%$ , что соответствует  $P_{aO_2} > 60$  мм рт.ст. При этом у пациентов с хронической гипоксемией кислород следует применять длительно. Именно длительная кислородотерапия представляется единственным эффективным методом лечения хронической дыхательной недостаточности и увеличивает

выживаемость больных ХОБЛ, продлевая им жизнь на шесть – семь лет [1]. Кроме ХОБЛ длительная кислородная терапия может назначаться при следующих заболеваниях:

- тяжелое течение коронавирусной инфекции COVID-19;
- экзогенный аллергический альвеолит;
- идиопатический легочный фиброз;
- пневмофиброзы после перенесенных пневмоний, туберкулеза;
- другие интерстициальные заболевания легких (саркоидоз, гистиоцитоз и др.);
- кифосколиоз;
- муковисцидоз;
- бронхиальная астма;
- смешанное поражение соединительной ткани с поражением легких;
- болезни накопления (легочный протеиноз);
- легочная гипертензия;
- состояния, сопровождающиеся синдромом дыхательной недостаточности, в том числе в сочетании с сердечной недостаточностью.

Абсолютных противопоказаний к кислородной терапии не установлено. В то же время для пациентов с хронической гиперкапнией рекомендуется назначать дозу кислорода, достаточную для поддержания  $PaO_2$  в пределах 60–65 мм рт. ст., что соответствует  $SpO_2$  90–92 %, с целью недопущения дальнейшего нарастания  $PaCO_2$ . Следует с осторожностью назначать кислородную терапию больным, которые получают лучевую терапию, амиодарон, поскольку данная комбинация может вызывать диффузные повреждения легких (двусторонние легочные инфильтраты, непродуктивный кашель, диспноэ, снижение комплаенса легких).

Показания к длительной кислородной терапии представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Показания к длительной кислородотерапии  
**Table 1.** Indications for long-term oxygen therapy

$PaO_2$ , мм рт. ст.	$SpO_2$ , %	Показания	Особые условия
<55	<88	Абсолютные	Нет
55–59	89	Относительные при наличии особых условий	Легочное сердце, отеки, полицитемия ( $H > 55\%$ )
60	90	Нет показаний за исключением особых условий	Десатурация при нагрузке. Десатурация во время сна. Болезнь легких с тяжелым диспноэ, уменьшающимся на фоне $O_2$

В настоящее время при проведении длительной кислородной терапии применение кислородных концентраторов в качестве источника кислорода представляется наиболее оптимальным. Концентраторы кислорода обеспечивают получение кислородсодержащей смеси с объемной долей кислорода до 95 % непосредственно из окружающего воздуха [1]. Доставка кислорода пациенту может осуществляться посредством низкопоточной назальной канюли, высокопоточной лицевой маски с увлажнением, простой лицевой маски, маски с резервуаром, маски Вентури и т. д. В случае длительной кислородной терапии наиболее эффективным является использование низкопоточной назальной канюли (рис. 2).



**Рис. 2.** Применение низкопоточной назальной канюли с концентратором кислорода «Оксимед»  
**Fig. 2.** The use of a low-flow nasal cannula with an oxygen concentrator “Oxymed”

Применение кислорода требует соблюдения режима и дозирования (табл. 2). Обязательным условием проведения кислородной терапии является пульсоксиметрический мониторинг  $SpO_2$  [1].

**Таблица 2.** Режимы длительной кислородной терапии с использованием назальной канюли  
**Table 2.** Modes of long-term oxygen therapy by means of a nasal cannula

PaO <sub>2</sub> , мм рт. ст. без кислородной терапии	SpO <sub>2</sub> , % без кислородной терапии	Режим кислородной терапии с использованием назальной канюли	
		Скорость потока кислорода 90 %, л/мин	Длительность, ч
55–60	88–90	1	не менее 15 ч в сутки: 8 ч в ночное время; 2 сеанса по 3,5 ч в дневное время с перерывами не более 2 ч подряд
50–54	85–87	2	
45–49	81–84	3	
40–44	75–80	4–5	

Следует отметить возможность проведения кислородной терапии в портативной барокамере, обеспечивающей небольшое избыточное давление до 1,15 АТА. В этом случае в качестве источника кислорода также целесообразно использовать кислородный концентратор (рис. 3), который посредством назальной канюли подает кислородсодержащую смесь пациенту, находящемуся внутри портативной барокамеры. Возможен вариант подключения концентратора кислорода к корпусу барокамеры и создания внутри нее повышенной концентрации кислорода до 35 %. В таком случае назальная канюля не требуется.



**Рис. 3.** Применение портативной барокамеры с концентратором кислорода «Оксимед»  
**Fig. 3.** The use of a portable pressure chamber with an oxygen concentrator "Oxymed"

Сеанс нормоксической баротерапии включает в себя компрессию в течение 5–6 мин, экспозицию в течение 40 мин, декомпрессию в течение 5–10 мин. Курс лечения включает 7–10 сеансов, которые проводятся ежедневно. При необходимости проводятся дополнительные курсы лечения 2–3 раза в год.

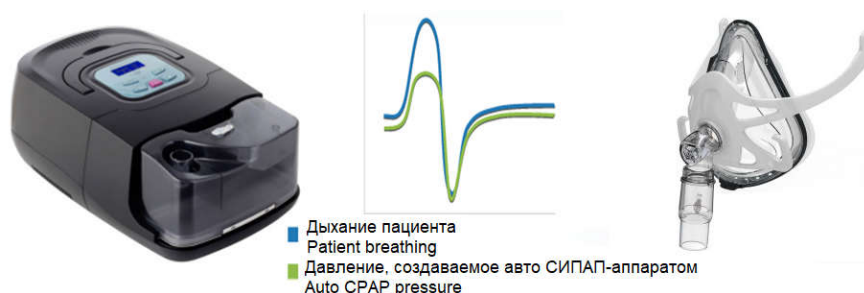
### Методика проведения СИПАП-терапии

В случае, если у пациента по результатам ночного/суточного пульсоксиметрического мониторинга наблюдается снижение  $SpO_2$  только во время сна, это может свидетельствовать о синдроме обструктивного апноэ сна (СОАС). Данный синдром заключается в периодическом спадении верхних дыхательных путей на уровне глотки, сопровождающемся храпом, и, как следствие, прекращением легочной вентиляции при сохраняющихся дыхательных усилиях. СОАС характеризуется грубой фрагментацией сна, снижением уровня кислорода в крови и избыточной дневной сонливостью. При полном смыкании дыхательных путей и прекращении воздушного потока в течение 10 с и более и снижении  $SpO_2$  на 3 % и более, говорят об обструктивном апноэ. В случае неполного спадения дыхательных путей, при уменьшении дыхательного потока не менее чем на 50 % и не менее чем на 10 с со снижением  $SpO_2$  на 3 % и более, говорят об обструктивном гипопноэ. При этом необходимо различать обструктивное апноэ сна и центральное апноэ сна. Во время центрального апноэ сна происходит снижение

функции или остановка дыхательного центра, дыхательные усилия прекращаются. Дыхательные пути при этом остаются открытыми.

Индекс апноэ-гиппноэ (ИАГ) определяет степень тяжести обструктивного апноэ сна и представляет собой частоту приступов апноэ и гиппноэ за один час сна. Легкая степень – 6–14 апноэ-гиппноэ за один час. Средняя степень – 15–29. Тяжелая степень – 30 и выше.

Наиболее эффективным из нехирургических способов лечения обструктивного апноэ сна является CPAP-терапия (Constant Positive Airway Pressure – постоянное положительное давление в дыхательных путях). Идея СИПАП-терапии состоит в том, чтобы создать положительное давление воздуха в дыхательных путях. За счет положительного давления воздуха дыхательные пути пациента во время сна остаются открытыми. Для проведения СИПАП-терапии применяется специализированное оборудование – СИПАП-аппараты (рис. 4). Они самостоятельно определяют состояние апноэ-гиппноэ и автоматически адаптируют уровень терапевтического давления исходя из потребностей пациента, подстраиваясь тем самым под его ритм дыхания.



**Рис. 4.** Автоматический СИПАП-аппарат BMC RESmart AUTO CPAP  
**Fig. 4.** BMC RESmart AUTO CPAP

В то же время следует отметить возможность применения СИПАП-аппаратов для терапии дыхательной недостаточности наряду с аппаратами неинвазивной искусственной вентиляции легких (НИВЛ), в том числе для пациентов с коронавирусной инфекцией тяжелого течения. При этом следует выделить следующие достоинства СИПАП-терапии: проводится неинвазивно с помощью лицевых масок; хорошо переносится пациентами; простота эксплуатации и доступная стоимость СИПАП-оборудования; большая разновидность СИПАП-масок для обеспечения комфорта пациента и учета его индивидуальных особенностей. Более того, в условиях дефицита специализированных масок для НИВЛ и СИПАП-масок был получен успешный опыт применения не менее комфортных масок для подводного плавания (снорклинга) после соответствующей доработки их конструкции посредством 3D-печати.

### Результаты и их обсуждение

На базе клиники ГУ «Республиканский научно-практический центр пульмонологии и физиатрии» был проведен ретроспективный анализ 120 случаев лечения инфекции COVID-19 среднетяжелого и тяжелого течения, осложненной развитием пневмоний. Пульсоксиметрический контроль  $SpO_2$ , а также контроль частоты дыхания, артериального давления, частоты сердечных сокращений, температуры тела, уровня сознания, индекса оксигенации, диуреза у пациентов, получающих кислородную терапию, осуществлялся не реже, чем через 6 ч, у пациентов, не получающих кислородную терапию, – каждые 12 ч.

При  $SpO_2$  более 95 % и частоте дыхания менее 24 в минуту кислородная терапия не назначалась, проводилось динамическое наблюдение. При значении  $SpO_2$  91–95 % проводился поворот в прон-позицию, при отсутствии эффекта в течение 1 ч ( $SpO_2 < 95\%$ ) в прон-позиции подавался кислород со скоростью потока 1–5 л/мин. При исходной  $SpO_2$  85–90 % алгоритм действия включал прон-позицию с подачей кислорода со скоростью потока более 5 л/мин, при отсутствии эффекта в течение 1 ч – вызов реаниматолога.

Подача кислорода потоком до 5 л/мин осуществлялась в том числе с использованием кислородных концентраторов «Оксимед», модель F7-5, более 5 л/мин – через стационарную кислородную систему. При сравнении способа доставки кислорода потоком до 5 л/мин

отмечалась сопоставимая эффективность. Не более 10 % пациентов нуждались в увеличении потока. У шести пациентов (5 %) отмечалась стойкая десатурация ( $SpO_2 < 85\%$ ), что потребовало перевода в отделение интенсивной терапии.

### Заключение

Своевременное выявление заболеваний с целью предупреждения их прогрессирования и повышения эффективности лечения представляется приоритетом медицины. Большинство заболеваний легче предотвратить, чем потом лечить, а лечение на ранних стадиях обычно менее затратно и более эффективно.

Проведение пульсоксиметрического скрининга терапевтами и врачами общей практики позволяет выявить дыхательную недостаточность, характеризующуюся снижением  $SpO_2$  ниже 94 %, на ранней стадии установить вызывающее ее заболевание (COVID-19, ХОБЛ, СОАГ и др.), и своевременно назначить необходимую терапию. В качестве технического обеспечения кислородной терапии дыхательной недостаточности предлагаются кислородные концентраторы, поскольку они не требуют заправки и с успехом могут применяться как в стационаре, так и в домашних условиях. В случае выявления по результатам ночного/суточного пульсоксиметрического мониторинга синдрома обструктивного апноэ сна применяются автоматические СИПАП-аппараты, обеспечивающие поддержание оптимального терапевтического давления в дыхательных путях пациента во время сна. Кроме этого, СИПАП-аппараты наряду с концентраторами кислорода могут применяться для терапии дыхательной недостаточности у пациентов с тяжелым течением коронавирусной инфекции в качестве более простой в эксплуатации и доступной по цене альтернативы аппаратам НИВЛ. В то же время применение кислородной и СИПАП-терапии рекомендовано для реабилитации пациентов с COVID-19.

Кислородная терапия и СИПАП-терапия проводятся согласно утвержденным Министерством здравоохранения Республики Беларусь методикам.

Вышеперечисленное оборудование прошло клинические испытания, зарегистрировано в Министерстве здравоохранения Республики Беларусь в качестве медицинской техники, внесено в реестр средств измерений Госстандарта и разрешено к применению.

### Список литературы

1. Давидовская Е.И., Зельманский О.Б. Устройство для проведения длительной кислородной терапии. Доклады БГУИР. 2016;7(101):226-230.

### References

1. Davidovskaya E.I., Zelmanskiy O.B. [Long-term oxygen therapy device]. Doklady BGUIR = Doklady BGUIR. 2016;7(101):226-230. (In Russ.)

### Вклад авторов

Давидовская Е.И. и Дубровский А.С. осуществляли ведение пациентов с заболеваниями органов дыхания, а также инфекцией COVID-19, анализировали эффективность лечения.

Зельманский О.Б. выполнял подбор респираторного оборудования, его настройку и выбор режимов, анализировал эффективности его применения.

### Authors' contribution

Davidovskaya E.I. and Dubrovski A.S. carried out the management of patients with respiratory diseases, as well as COVID-19 infection, analyzed the effectiveness of treatment.

Zelmansky O.B. performed the selection of respiratory equipment, its adjustment and mode selection, analyzed the effectiveness of its use.

### Сведения об авторах

Давидовская Е.И., к.м.н., доцент, заведующий отделом пульмонологии и хирургических методов лечения болезней органов дыхания Республиканского научно-практического центра пульмонологии и фтизиатрии, главный нештатный пульмонолог Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

Дубровский А.С., к.м.н., доцент, ведущий заместитель директора Республиканского научно-практического центра пульмонологии и фтизиатрии».

Зельманский О.Б., к.т.н., доцент, доцент кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-17-293-85-58;  
e-mail: 7650772@rambler.ru  
Зельманский Олег Борисович

### Information about the authors

Davidovskaya E.I., PhD, Associate Professor, Head of the Department of Pulmonology and Surgical Methods of Treatment of Respiratory Diseases of the Republican Scientific and Practical Center for Pulmonology and Phthisiology, Chief Pulmonologist of the Ministry of Health of the Republic of Belarus.

Dubrovski A.S., PhD, Associate Professor, Leading Deputy Director of the Republican Scientific and Practical Center for Pulmonology and Phthisiology.

Zelmanski O.B., PhD, Associate Professor, Assistant Professor of the Information Security Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

### Address for correspondence

220013, The Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovki str., 6,  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
tel. +375-17-293-85-58;  
e-mail: 7650772@rambler.ru  
Zelmanski Oleg Borisovich