

# Определение сатурации крови фотоплетизмографическим и электрохимическим методами: сравнение результатов у взрослых пациентов с заболеваниями органов дыхания

Е.А. Шергина, М.И. Чушкин, А.И. Нагаев, Н.Л. Карпина

Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза, Москва

## Oxygen saturation determination by photoplethysmographic and electrochemical methods: comparison of results in adult patients with pulmonary diseases

E. Shergina, M. Chushkin, A. Nagaev, N. Karpina

Central TB Research Institute, Moscow

© Коллектив авторов, 2023 г.

### Резюме

Пульсоксиметрия — распространенный в медицине метод определения уровня насыщения крови кислородом. Для пациентов с заболеваниями органов дыхания (ЗОД) величина сатурации — один из важнейших показателей для оценки эффективности легочного газообмена. **Целью** работы явилось сравнение результатов определения сатурации фотоплетизмографическим и электрохимическим методами у больных с заболеваниями органов дыхания. **Материалы и методы.** Обследовано 252 пациента с ЗОД различной этиологии. Всем пациентам измеряли сатурацию крови с помощью пульсоксиметрии ( $SpO_2$ ), и газоаналитическим методом ( $SaO_2$ ) и выполняли спирометрию. **Результаты.** Между показателями насыщения крови кислородом, полученными разными методами, существует высокая прямая корреляция ( $R=0,869$ ). Средняя абсолютная величина разницы между  $SpO_2$  и  $SaO_2$  составляет  $0,74 \pm 2,35$  п.п. (процентных пункта). На величину разницы влияет величина парциального напряжения кислорода в крови: при величине  $PaO_2$  выше 80 мм рт.ст. средняя величина

разности (Md) составляет 0,1 п.п., а лимит согласованности от -2,6 до 2,8 п.п., при снижении  $PaO_2$  разброс результатов увеличивается, достигая максимума при  $PaO_2$  менее 60 мм рт.ст. (Md=0,8 п.п., а лимит согласованности может составлять  $\pm 8,0$  п.п.). Величина сатурации, определенная пульсоксиметрией, при которой можно ожидать гипоксемию менее 60 мм рт.ст., возможна при величине  $SpO_2$  менее 93%. Разница между  $SpO_2$  и  $SaO_2$  более 3,0 п.п. выявлена у 47 (18,7%) больных ЗОД. Чаще она определялась у трети больных интерстициальными заболеваниями легких — ИЗЛ (34,0%), чем у больных с другими ЗОД (12,5–16,6%). **Заключение.** У больных ЗОД определение сатурации крови методом пульсоксиметрии в большинстве случаев адекватно отображает состояние газообменной функции легких и может использоваться в практической пульмонологии, но при снижении  $SpO_2$  до 93% и ниже необходимо уточнять результат газоаналитическим методом исследования.

**Ключевые слова:** насыщение крови кислородом, пульсоксиметрия, газоаналитический метод исследования, заболевания органов дыхания (ЗОД)

## Summary

Pulse oximetry is widely introduced to determine oxygen saturation of the blood. For patients with pulmonary diseases oxygen saturation is a major parameter used for the assessment of pulmonary gas exchange. **The objective** of our study was to compare the results of oxygen saturation measured by photoplethysmographic and electrochemical methods in patients with pulmonary diseases. **Materials and methods.** The authors studied 252 patients with pulmonary diseases of different etiology. All the patients underwent pulse oximetry ( $SpO_2$ ) and blood gas analysis ( $SaO_2$ ) for oxygen saturation measurement, as well as spirometry. **Results.** We have established high direct correlations ( $R=0.869$ ) between oxygen saturation levels determined by different methods. The mean absolute value of the difference between  $SpO_2$  and  $SaO_2$  was  $0.74 \pm 2.35$  pp. The value of the difference was influenced by the value of partial pressure of oxygen in the blood: if  $PaO_2$  was higher than 80 mm Hg, the mean value of the dif-

ference (Md) was 0.1 pp (percentage points), and the consistency limit ranged from  $-2.6$  to 2.8 pp; as  $PaO_2$  lowered, the results increased to the maximum at  $PaO_2$  of less than 60 mm Hg (Md=0.8 pp; the consistency limit could reach  $\pm 8.0$  pp). The saturation value measured by pulse oximetry with supposed hypoxemia of less than 60 mm Hg was possible at  $SpO_2$  of less than 93%. The difference between  $SpO_2$  and  $SaO_2$  beyond 3.0 pp was detected in 47 (18.7%) patients with pulmonary diseases. It was more frequently determined in patients with interstitial lung diseases (34.0%) than patients with other pulmonary diseases (12.5–16.6%). **Conclusion.** Oxygen saturation determination by pulse oximetry adequately shows pulmonary gas exchange in patients with pulmonary diseases and can be used in practical pulmonology. Though, blood gas analysis results should be specified if  $SpO_2$  is 93% or lower.

**Key words:** blood oxygen saturation, pulse oximetry, blood gas analysis, pulmonary disease

## Введение

Исследование уровня насыщения крови кислородом (сатурации) широко используют во многих областях медицины у здоровых и больных людей с целью контроля кардиореспираторного статуса обследуемого. У здоровых людей пульсоксиметрию активно применяют при подготовке и тестировании пилотов, военных, профессиональных спортсменов. У больных активно используют в пульмонологии, при всех видах анестезии, во время оперативных вмешательств и в послеоперационном периоде, при инвазивных инструментальных методах исследования у взрослых и детей, а также для выявления жизнеугрожающих состояний новорожденных и недоношенных. У пациентов с заболеваниями органов дыхания (ЗОД) сатурация — один из важнейших показателей для оценки эффективности легочного газообмена. Ее величина служит критерием наличия и степени выраженности дыхательной недостаточности (ДН), определения показаний к назначению корректирующей оксигенотерапии и оценки эффективности лечения [1–4].

Сатурацию можно определять фотоплетизмографическим (пульсоксиметрия) или электрохимическим (газоаналитическим) методами. Каждый из методов имеет свои положительные стороны и недостатки. В практике пульмонологии для определения сатурации широко применяют пульсоксиметрию — чрескожный метод для быстрой диагностики насыщения крови кислородом ( $SpO_2$ ), с помощью пульсоксиметров — относительно простых в обращении и недорогих аппаратов. Чаще используют портатив-

ные пальцевые пульсоксиметры трансмиссионного типа.

Точность измерений максимальна при значениях насыщения крови кислородом в пределах 70–100%. На результаты показаний пульсоксиметров влияют как технические особенности устройства аппарата, требующие четкого соблюдения правил проведения исследования, так и патофизиологические изменения периферического кровотока, возможные у больных ЗОД. К техническим причинам снижения точности измерения относятся: класс точности измерительной аппаратуры (качество светодиодов), движение пациента, яркий свет и высокая температура в помещении, наводка от электрооборудования. Патофизиологические причины связаны с нарушением венозного оттока и вазодилатацией, со снижением периферического пульсирующего кровотока при вазоконстрикции, гиповолемии, гипотензии, гипотермии, поражении периферических сосудов, а также с выраженной анемией, бради-, тахикардией и аритмиями [2–5].

Пульсоксиметры не имеют ежедневной калибровки. Они калибруются при изготовлении. В память микропроцессора аппарата закладывают калибровочную кривую, разработанную производителем, полученную на основе эксперимента на здоровых добровольцах при дыхании разными гипоксическими и гипероксическими смесями или измерения  $SaO_2$  *in vitro*. При включении пульсоксиметр автоматически проверяет свой внутренний контур и рассчитывает величину  $SpO_2$ .

Существенно реже для определения сатурации используют электрохимический метод измерения

с помощью селективных электродов газоанализатора. Для этого метода необходим инвазивный забор артериальной или «артериализованной» крови. На газоанализаторе крови с помощью селективных электродов определяют величины pH, PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub> и на их основе математически рассчитывают величину насыщения крови кислородом (SaO<sub>2</sub>). Этот метод технически более сложный, трудоемкий и дорогостоящий. Для достижения точности измерения параметров газоанализатор постоянно автоматически калибруется через выбранные интервалы по двум точкам для подготовки к анализу проб, и ежедневно проверяется качество его работы по результатам анализа трех уровней контрольных растворов (ацидоз, норма, алкалоз). Из-за сложности получения артериальной крови в клинической практике, особенно при необходимости повторных многократных исследований, вместо артериальной крови в качестве альтернативы используют «артериализованную» капиллярную кровь из мочки уха или пальца [6, 7].

### Цель

Целью исследования был сравнительный анализ результатов определения сатурации капиллярной крови фотоплетизмографическим методом (пульсоксиметрией) и «артериализованной» капиллярной крови электрохимическим (газоаналитическим) методом у взрослых больных ЗОД.

### Материалы и методы

Проанализированы результаты исследования насыщения крови кислородом, полученные с помощью пульсоксиметрии и газоаналитическим методом у 252 пациентов с ЗОД. В группе обследованных: 135 (53,6%) больных с различными ограниченными (очаговый, туберкулема) и распространенными клиническими формами туберкулеза легких (инфильтративный, диссеминированный, фиброзно-кавернозный), 77 (30,5%) больных с различными интерстициальными заболеваниями легких (саркоидозом, гиперчувствительным пневмонитом, интерстициальным фиброзом легких) и 40 (15,9%) больных с обструктивными заболеваниями легких (хронической обструктивной болезнью легких и бронхиальной астмой). Среди обследованных — 112 женщин (44,4%) и 140 мужчин (55,6%) в возрасте от 17 до 80 лет (средний возраст 49,9±15,9 года).

Во время визита пациенту в состоянии покоя проводили последовательно пульсоксиметрию пальца руки для определения насыщения капиллярной крови кислородом (SpO<sub>2</sub>) портативным пульсоксиметром. При измерении сатурации соблюдали инструкции по эксплуатации аппаратов и рекомендаций ВОЗ по пульсоксиметрии [3, 4]. Затем пациенту выполня-

ли взятие из мочки уха, предварительно гиперемизированной мазью «Финалгон», «артериализованной» капиллярной крови с последующим определением на газоанализаторе: парциального давления кислорода (PaO<sub>2</sub>), парциального давления углекислого газа (PaCO<sub>2</sub>), концентрации ионов водорода (pH), уровень бикарбонатов плазмы (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), избытка/дефицита оснований (BE) и степени насыщения гемоглобина кислородом (SaO<sub>2</sub>). Рассчитывали разницу между величинами сатурации SpO<sub>2</sub> и SaO<sub>2</sub>, полученную разными методами.

Показатели газов крови — PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub> и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, BE — оценивали в абсолютных величинах (соответственно мм рт.ст. и мэкв/л), SpO<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub> — в процентах, разницу показателей — процентных пунктах (п.п.).

Границей нормальных значений PaO<sub>2</sub> считали 80 мм рт.ст., SpO<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub> — 95% [1–3].

Далее выполняли спирометрию с соблюдением стандартов исследования Российского респираторного общества 2016 г. [8]. При спирометрии определяли: форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ<sub>1</sub>), отношение объема форсированного выдоха за первую секунду к форсированной жизненной емкости легких (ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ). Основные спирометрические показатели оценивали по их отношению к должным величинам (д.в.) в процентах, а ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ — в процентах. В качестве должных величин использовали данные Европейского общества угля и стали [9].

Изменения вентиляционной функции легких по данным спирометрии оценивали как обструктивные при ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ менее 70%, как рестриктивные при ФЖЕЛ или ОФВ<sub>1</sub> менее 80% и ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ 70% и более, как смешанные нарушения при сочетании изменений обструктивного и рестриктивного типов [10, 11].

При оценке выраженности нарушений использовали степень отклонения ОФВ<sub>1</sub> от должного значения, рекомендованную ATS/ERS 2005 г. [12].

По данным пальцевого портативного пульсоксиметра снижение насыщения крови кислородом менее 95% выявлено у 90 из 252 пациентов (35,7%), снижение насыщения «артериализованной» капиллярной крови менее 95% (SaO<sub>2</sub>) — у 135 из 252 (53,5%).

По данным спирометрии у 102 из 252 (40,5%) пациентов вентиляционная функции легких была в пределах вариантов нормы. Почти у половины обследованных — у 150 из 252 (59,5%) выявлены нарушения вентиляционной функции легких: по рестриктивному типу у 65/252 (25,8%), обструктивному — у 41/252 (16,3%) и смешанному — у 44/252 (17,4%). Легкая степень снижения диагностирована у 28/150 (18,7%) больных, умеренная — у 29/150 (19,3%), средняя — у 29/150 (19,3%), тяжелая — у 31/150 (20,7%), крайне тяжелая — у 33/150 (22,0%).

Для исследования использовали: трансмиссионный портативный пальцевый пульсоксиметр ri-fox N фирмы Riester (Германия), автоматический газоанализатор Easy Blood Gas фирмы Medica (США), спироанализатор Master Screen Pneumo Viasis Healthcare (Германия, США).

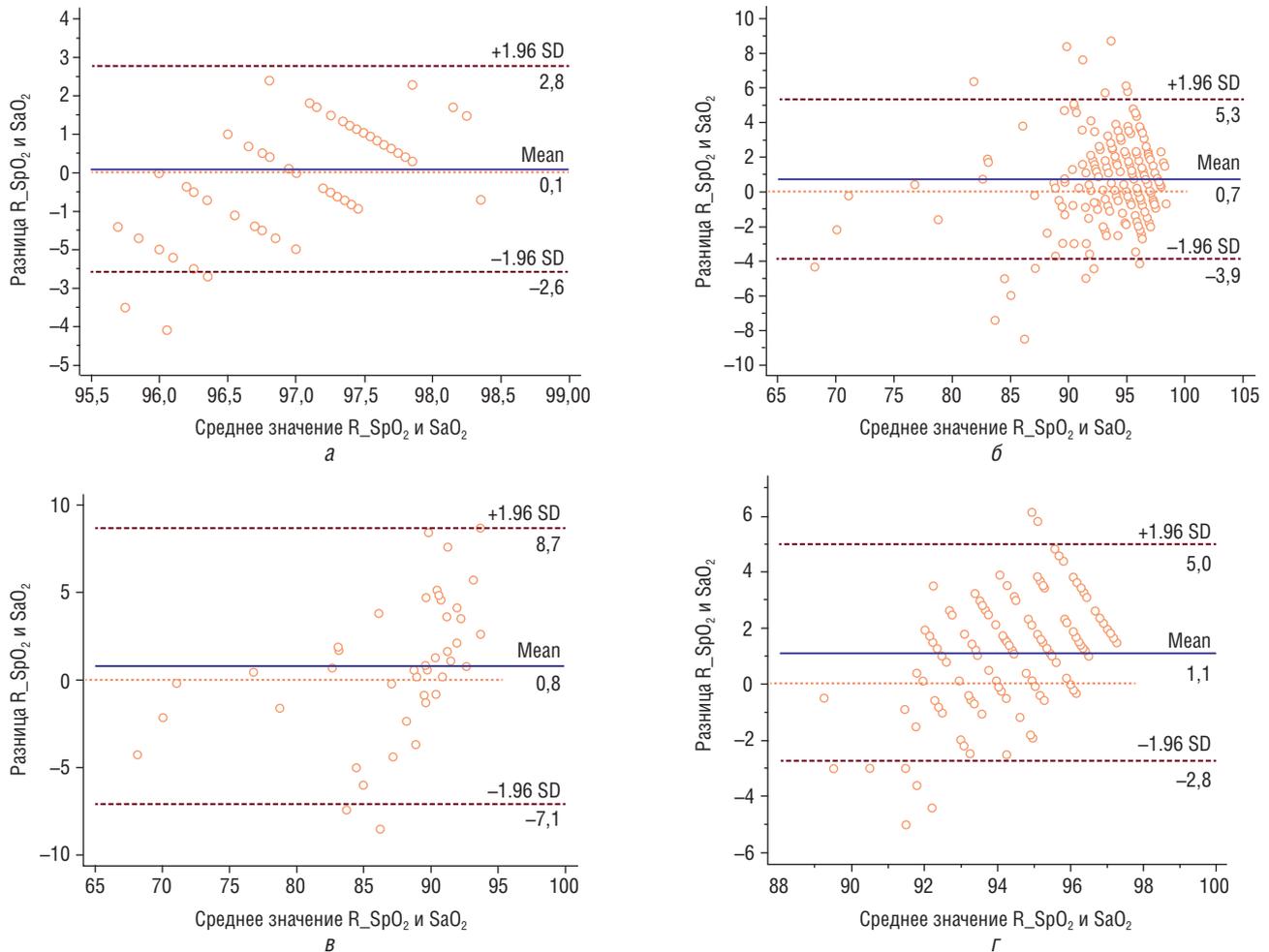
Статистическая обработка выполнена с помощью программы Medcalc v18.2.1. Для анализа и оценки данных использовали методы описательной статистики. Достоверность различий пар измерений определяли с помощью парного t-теста. Корреляцию пар измерений определяли с помощью коэффициента Пирсона. Для оценки влияния различных факторов на разницу величин сатурации кислорода использовали регрессионный анализ. Для определения лимита согласованности (разницы между двумя измерениями, которая находится в пределах 1,96 стандартных отклонений от средней разницы) величин сатурации кислородом, полученных разными способами, использовали метод

Бланда–Алтмана. Для оценки диагностической эффективности параметров использовали ROC-анализ. Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

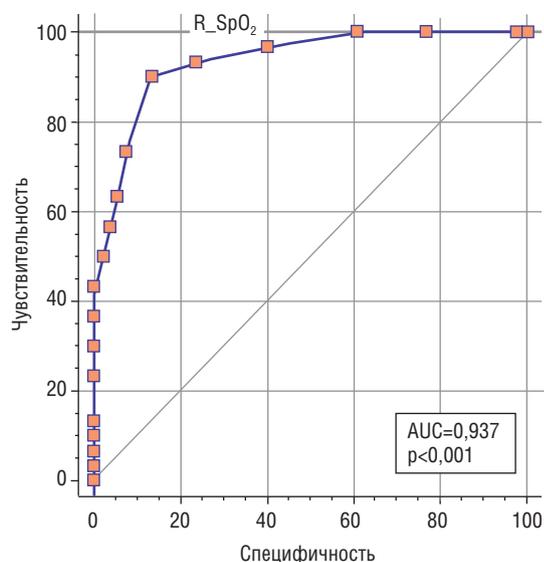
## Результаты и их обсуждение

У пациентов с ЗОД между величинами сатурации, измеренными разными методами, существует высокая прямая корреляция (коэффициент корреляции  $r=0,869$ ;  $p < 0,016$ ). Средние величины  $SpO_2$  и  $SaO_2$  составляли соответственно  $94,34 \pm 4,75$  и  $93,60 \pm 4,30\%$  ( $p=0,419$ ); то есть величина насыщения крови кислородом при определении методом пульсоксиметрии несколько выше, чем при определении газоаналитическим методом, но различия статистически незначимы. Средняя абсолютная величина разницы  $SpO_2$  и  $SaO_2$  составляет  $0,74 \pm 2,35$  п.п.

При анализе результатов методом Бланда–Алтмана средняя разность (Md) величин сатурации,



**Рис. 1.** Графики зависимости разницы измерений сатурации крови (ось y) от среднего значения показателей, определенных пульсоксиметрическим и газоаналитическим методами (ось x): а — у всей группы пациентов; б — у пациентов с  $PaO_2$  выше 80 мм рт.ст.; в — у пациентов с  $PaO_2$  в пределах 79–60 мм рт.ст.; г — у пациентов с  $PaO_2$  менее 60 мм рт.ст. (метод Бланда–Алтмана).  $R\_SpO_2$  — значение сатурации, полученной с помощью трансмиссионного портативного пальцевого пульсоксиметра ri-fox N фирмы Riester (Германия);  $SaO_2$  — значения сатурации, полученные с помощью автоматического газоанализатора Easy Blood Gas фирмы Medica (США) (газоаналитический метод)



**Рис. 2.** ROC-анализ информативности показателя  $SpO_2$  для выявления снижения  $PaO_2$  менее 60 мм рт.ст. AUC — площадь под кривой

полученных разными методами, имеет положительное значение, составляет 0,7 процентных пунктов (п.п.), что невелико по сравнению с самими значениями сатурации, но варьирует в широких пределах (лимит согласованности от  $-3,9$  до  $5,3$ ) (рис. 1, а). Значит, разница результатов, полученных разными методами, может составлять более 4,0 п.п., что больше, чем ошибка измерения, обусловленная вариабельностью показателя сатурации при пульсоксиметрии.

Для оценки влияния различных факторов на разницу величин сатурации кислорода использовали корреляцию и регрессионный анализ, который выявил умеренную обратную зависимость абсолютной разницы величин сатурации, определенных разными методами, от величины  $PaO_2$  крови ( $R=-0,416$ ;  $R^2=0,173$ ;  $p<0,01$ ), слабую обратную зависимость от величины  $HCO_3^-$  крови ( $R=-0,183$ ;  $R^2=0,0337$ ;  $p<0,05$ ), слабую прямую зависимость от возраста пациента

( $R=0,175$ ;  $R^2=0,0307$ ;  $p<0,05$ ) и отсутствие зависимости от величин ОФВ<sub>1</sub>, %,  $PaCO_2$  и pH крови.

Нами проанализировано влияние степени изменения величины  $PaO_2$  крови на разность и степень разброса результатов сатурации, измеренных разными методами. Анализ показал, что разность и разброс результатов у пациентов с ЗОД увеличиваются при снижении  $PaO_2$  крови (рис. 1, б, в, г).

У пациентов с нормальной величиной  $PaO_2$  (80 мм рт.ст. и более) ( $n=76$ ) средняя разность и лимит согласованности измерения сатурации наименьшие:  $Md=0,1$  п.п., а лимит согласованности составляет от  $-2,6$  до  $2,8$  п.п. (рис. 1, б). У пациентов с умеренной гипоксемией ( $PaO_2$  60–79 мм рт.ст.) ( $n=132$ ) значения этих величин возрастают [ $Md=1,1$  п.п., лимит согласованности —  $(-3,3; 4,8$  п.п.)] (рис. 1, в). У пациентов с выраженной гипоксемией ( $PaO_2$  менее 60 мм рт.ст.) ( $n=44$ ) средняя разность и лимит согласованности результатов измерений сатурации наибольший и существенно превышает аналогичные значения предыдущих групп [ $Md=0,8$  п.п.;  $(-7,1; 8,7$  п.п.)] (рис. 1, г).

Такая выраженная разница между величинами  $SpO_2$  и  $PaO_2$  может приводить к ошибочной трактовке нарушений газообмена и степени выраженности ДН у конкретного больного и требует уточнения результата насыщения крови кислородом газоаналитическим методом.

Для определения величины сатурации при пульсоксиметрии ( $SpO_2$ ), при которой можно ожидать снижения  $PaO_2$  менее 60 мм рт.ст., проведен ROC-анализ результатов исследования (рис. 2).

По данным ROC-анализа (рис. 2), признаки гипоксемии ( $PaO_2$  менее 60 мм рт.ст.) характерны при  $SpO_2$  менее 93% (чувствительность 90%; специфичность 86%; площадь под кривой [AUC] 0,937;  $p<0,001$ ). Для определения частоты выявления выраженной разницы между величинами  $SpO_2$  и  $PaO_2$ , средних величин разницы показателей сатурации у больных с различными

Таблица

**Частота выявления, средние величины разницы показателей сатурации, превышающие  $\pm 3$  п.п., у больных с различными заболеваниями органов дыхания**

Заболевания органов дыхания	Число больных, n	Частота выявления, число больных, n (%)	Разница $SpO_2 - PaO_2$ , $Md \pm \sigma$
Группа обследованных	252	47 (18,6)	$4,7 \pm 1,5$
Туберкулез легких	135	22 (16,6)	$5,0 \pm 1,4$
Саркоидоз	30	4 (13,3)	$3,9 \pm 1,1$
Интерстициальные заболевания легких	47	16 (34,0)*	$5,2 \pm 1,5$
Хронические обструктивные заболевания легких	40	5 (12,5)	$4,1 \pm 0,4$

\* Достоверные различия между частотой выявления разницы показателей сатурации, превышающие  $\pm 3$  п.п., у больных с заболеваниями органов дыхания в столбце 1 ( $p<0,05$ ).

заболеваниями органов дыхания проанализированы данные группы пациентов, у которых разность показаний превышала  $\pm 3$  п. п. (таблица).

Такие изменения выявлены у 47 из 252 обследованных (18,7%), разница величин определялась в пределах 3,1–8,7 п. п. и в среднем составляла  $4,57 \pm 1,5$  п. п.

Анализ аналогичных параметров в зависимости от вида заболевания легких показал, что расхождение результатов показателей насыщения крови кислородом, превышающие 3 п. п., достоверно чаще встречается у больных с ИЗЛ. У трети больных с ИЗЛ у 16 из 48 (34,0%) существенные расхождения между показателями обнаружены в 2 раза чаще, чем у больных с туберкулезом легких (у 22 из 135; 16,6%;  $p < 0,05$ ), саркоидозом (у 4 из 30; 13,3%;  $p < 0,05$ ), хроническими obstructивными заболеваниями легких — ХОЗЛ (у 5 из 40; 12,8%;  $p < 0,05$ ).

## Выводы

Между показателями насыщения крови кислородом, полученными разными методами, существует высокая прямая взаимосвязь ( $R = 0,869$ ). Средняя величина сатурации, определенная методом пульсоксиметрии, незначительно выше, чем при ее определении газоаналитическим методом ( $94,18 \pm 4,69$  и  $93,77 \pm 4,36\%$ ;  $p = 0,419$ ). На величину разницы влияет прежде всего величина парциального напряжения кислорода в крови. У пациентов с ЗОД с нормальной величиной напряжения кислорода (выше 80 мм рт.ст.) средняя величина разности и разброс результатов находятся в пределах ошибки измерения пульсоксиметра ( $Md = 0,1$  п. п., а лимит согласованности составляет от  $-2,6$  до  $2,8$  п. п.), то есть не более  $\pm 3$  п. п.; при снижении  $PaO_2$  средняя величина разности и разброс

результатов увеличивается, достигая максимума при снижении  $PaO_2$  менее 60 мм рт.ст. ( $Md = 0,8$  п. п., разброс результатов может составлять  $\pm 8,0$  п. п.). Такая выраженная разница между величинами  $SpO_2$  и  $SaO_2$  может приводить к ошибочной трактовке нарушений газообмена и степени выраженности ДН у конкретного больного. Признаки гипоксемии менее 60 мм рт.ст. могут иметь место при  $SpO_2$  менее 93%.

Разница между  $SpO_2$  и  $SaO_2$  более 3,0 п. п. выявлена нами у 47 из 252 (18,7%) обследованных с ЗОД и достоверно чаще диагностируется у больных ИЗЛ (34,0%), чем у больных туберкулезом легких, саркоидозом и ХОЗЛ (12,5–16,6%). Определение сатурации крови методом пульсоксиметрии у больных ЗОД в большинстве случаев (81,3%) адекватно отображает состояние газообменной функции легких и может использоваться в практической пульмонологии. При определении  $SpO_2$  93% и ниже могут неточно отображать реальную величину насыщения крови кислородом. В этом случае необходимо уточнять результат дополнительно, с определением показателей оксигенации ( $PaO_2$ ,  $SaO_2$ ) крови газоаналитическим методом. Дополнительное уточняющее исследование необходимо также проводить при несоответствии клинической тяжести состояния больного результату определения  $SpO_2$ , особенно у больных с ИЗЛ.

**Конфликт интересов.** Все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

**Conflict of interest.** The authors have no conflict of interests to declare.

**Финансирование.** Статья не имела спонсорской поддержки.

**Funding.** The study was not sponsored.

**Статья подготовлена в ходе выполнения НИР.** Уникальный номер 122041200022-2.

## Список литературы

1. Интенсивная терапия в пульмонологии: монография / под ред. С.Н. Авдеева. Т. 1. М.: Атмосфера, 2014. С. 12–67. (Серия монографий Российского респираторного общества под ред. А.Г. Чучалина). [Intensivnaya terapiya v pul'monologii: monografiya / pod red. S.N. Avdeeva (Seriya monografii Rossiiskogo respiratornogo obshchestva pod red. A.G. Chuchalina). Vol. 1. M.: Atmosfera. 2014: 12–67 (In Russ.).]
2. Гришин О.В., Гришин В.Г. Клиническое значение пульсоксиметрии у взрослых. Медицинский алфавит 2020; (25): 13–21. [Grishin O.V., Grishin V.G. Clinical Significance of Pulse Oximetry in Adults. Medicinskij alfavit 2020; (25): 13–21 (In Russ.).] doi: 10.33667/2078-5631-2020-25-13-21.
3. Руководство ВОЗ по пульсоксиметрии. Женева, 2009. 1–23. [Руководство ВОЗ по пульсоксиметрии. Zheneva, 2009. 1–3 (In Russ.).]
4. Шурыгин И.А. Пульсоксиметрия. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. СПб.: Невский диалект; М.: БИНОМ, 2000: 11–98. [Shurygin I.A. Pul'soksimetriya. Monitoring dykhaniya: pul'soksimetriya, kapnografiya, oksimetriya. SPb.: Nevskii dialekt; M.: BINOM, 2000: 11–98 (In Russ.).]
5. Каков С.В., Мулер В.П. Пульсоксиметрия. Вестник новых медицинских технологий 2006; XIII (1): 171–172. [Kakov S.V., Muler V.P. Pulse oximetry. Vestnik novykh medicinskih tehnologij 2006; XIII (1): 171–172 (In Russ.).]
6. Glasgow J.F., Flynn D.M., Swyer P.R. An comparison of descending aortic and "arterialized" capillary blood in the sick newborn. Can. Med. Assos. J. 1972; 106 (6): 660–662.
7. Kanarek D.J., Goldman H.L., Zwi S. Arterial oxygen tension values in normal adults at an altitude of 1763 metres. S. Afr. Med. J. 1972; 46: 315–317.
8. Чучалин А.Г., Айсанов З.Р., Чикина С.Ю. и др. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии. Пульмонология 2014; (6): 11–24. [Chuchalin A.G., Aisanov Z.R., Chikina S Yu. et al. Federal Clinical Guidelines of the Russian

- Respiratory Society for using the spirometry method. Pul'monologija 2014; (6): 11–24 (In Russ.]). doi: 10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24.
9. Standardization of Lung Function Tests. Report Working Party European Community for Steel and Coal. Official statement of European Respiratory Society. Eur. Respir J. 1993; 16: 1–121.
  10. Чушкин М.И., Попова Л.А., Шергина Е.А., Карпина Н.А. Вентиляционная функция легких и качество жизни пациентов после перенесенного туберкулеза легких. Медицинский альянс 2021; 9 (4): 37–44. [Chushkin M.I., Popova L.A., Shergina E.A., Karpina N.A. Ventilation function lungs and quality of life of patients after pulmonary tuberculosis. Medicinskij al'jans 2021; 9 (4): 37–44 (In Russ.]). doi: 10.36422/23076348-2021-9-4-37-44.
  11. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р. и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению хронической обструктивной болезни легких. Пульмонология 2014; (3): 15–36. [Chuchalin A.G., Avdeev S.N., Aisanov Z.R. et al. Federal clinical guidelines for the diagnosis and treatment of chronic obstructive pulmonary disease. Pul'monologija 2014; (3): 15–36 (In Russ.]). doi: 18093/0869-0189-2014-0-3-15-54.
  12. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for Lung function test. Eur. Respir. J. 2005; 26: 948–968.

Поступила в редакцию: 15.02.2023 г.

### Сведения об авторах:

*Шергина Елена Александровна* — кандидат медицинских наук, заведующая отделением функциональной диагностики Центра диагностики и реабилитации заболеваний органов дыхания Центрального научно-исследовательского института туберкулеза; 107564, Москва, Яузская аллея, д. 2; e-mail: fdcniit@yandex.ru; ORCID 0000-0002-1433-5720;

*Чушкин Михаил Иванович* — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник Центра диагностики и реабилитации заболеваний органов дыхания Центрального научно-исследовательского института туберкулеза; 107564, Москва, Яузская аллея, д. 2; e-mail: mchushkin@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8263-8240;

*Нагаев Андрей Игоревич* — врач-кардиолог, врач функциональной диагностики Центра диагностики и реабилитации заболеваний органов дыхания Центрального научно-исследовательского института туберкулеза; 107564, Москва, Яузская аллея, д. 2; e-mail: fdcniit@yandex.ru; ORCID 0000-0002-2498-4329;

*Карпина Наталья Леонидовна* — доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе, руководитель Центра диагностики и реабилитации Центрального научно-исследовательского института туберкулеза; 107564, Москва, Яузская аллея, д. 2; e-mail: natalya-karpina@rambler.ru; ORCID 0000-0001-9337-3903.