

УДК 616.22-036.12:612.23]«756»:616-079.4

DOI: 10.36604/1998-5029-2025-95-58-69

ПОВТОРЯЕМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГАЗОВ АРТЕРИАЛИЗОВАННОЙ КАПИЛЛЯРНОЙ КРОВИ У БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ. ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К КЛИНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ

А.И.Нагаев, Е.А.Шергина, Н.Л.Карпина

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза», 107564, г. Москва, ул. Яузская аллея, 2

РЕЗЮМЕ. Введение. С целью обоснованного суждения об изменении состояния газообмена в динамике при корректирующей оксигенотерапии, проведении инструментальных методов исследования, проб с физической нагрузкой, определении влияния лекарственных средств необходимо знать величину повторяемости его показателей, включая все возможные погрешности измерения (технические, методические и физиологические). **Цель.** Изучение повторяемости результатов исследования газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови у больных с хроническими заболеваниями органов дыхания для объективной оценки их изменений. **Материалы и методы.** Выполнено одноцентровое обсервационное проспективное сплошное исследование 200 больных старше 18 лет с хроническими заболеваниями органов дыхания: 110/200 (55,0%) случаев туберкулеза легких с различными клиническими формами, 58/200 (29,0%) случаев с интерстициальными заболеваниями легких, 32/200 (16,0%) случаев с хроническими обструктивными заболеваниями легких. Проводили 2 забора артериализованной капиллярной крови с интервалом 30 мин. Анализировали парциальное напряжение кислорода (PaO_2), углекислого газа (PaCO_2), степень насыщения крови кислородом (SaO_2) газоаналитическим методом на аппарате «Easy Blood Gas» (Medica, США). Рассчитывали повторяемость, индивидуальный коэффициент вариации, наименьшее значимое изменение, абсолютную и относительную погрешности измерений PaO_2 , PaCO_2 и SaO_2 . Результаты исследования обрабатывались при помощи пакета статистических программ MS EXCEL 2016 для Windows, IBM SPSS Statistics 23 и STATISTICA 10, использовались непараметрические методы. **Результаты.** Установлено повышение повторяемости результатов показателя PaO_2 , в то время как для SaO_2 повторяемость была ниже более чем в 2 раза (3,67 vs 1,14), несмотря на высокую корреляционную взаимосвязь между параметрами. Однако, при тяжелых расстройствах газообмена повторяемость значений PaO_2 и SaO_2 была практически идентична (2,86 и 2,89, соответственно). Величина повторяемости PaCO_2 составляла 1,92, но уже при умеренной гиперкапнии повышалась до 4,16. **Заключение.** При получении значений показателей газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови, отличающихся на 3,67 мм рт.ст. для PaO_2 , на 1,14% для SaO_2 и на 1,94 мм рт.ст. для PaCO_2 , при повторных измерениях у одного и того же больного с хроническими заболеваниями органов дыхания следует считать эти изменения клинически значимыми. Авторы считают, что поскольку исследование проводилось на репрезентативной выборке с учетом критериев включения, характера распределения данных, расчетом 95% ДИ, в условиях прецизионности, то его результаты могут быть использованы в клинической практике.

Ключевые слова: повторяемость, артериализованная капиллярная кровь, хронические заболевания органов дыхания.

Контактная информация

Андрей Игоревич Нагаев, врач-функциональной диагностики, отделение функциональной диагностики Центра диагностики и реабилитации заболеваний органов дыхания, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза», 107564, Россия, г. Москва, ул. Яузская аллея, 2. E-mail: fdcniit@yandex.ru

Correspondence should be addressed to

Andrey I. Nagaev, Functional Diagnostics Physician, Functional Diagnostics Department, Centre for Diagnosis and Pulmonary Rehabilitation, Federal State Budgetary Scientific Institution "Central Tuberculosis Research Institute", 2 Yauzskaya alley, Moscow, 107564, Russian Federation. E-mail: fdcniit@yandex.ru

Для цитирования:

Нагаев А.И., Шергина Е.А., Карпина Н.Л. Повторяемость показателей газов артериализованной капиллярной крови у больных с хроническими заболеваниями органов дыхания. Дифференцированный подход к клинической оценке // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2025. Вып.95. С.58–69. DOI: 10.36604/1998-5029-2025-95-58-69

For citation:

Nagaev A.I., Shergina E.A., Karpina N.L. Repeatability of blood gas parameters in arterialized capillary blood among patients with chronic respiratory diseases: a differentiated approach to clinical evaluation. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ* = *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2025; (95):58–69 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029-2025-95-58-69

REPEATABILITY OF BLOOD GAS PARAMETERS IN ARTERIALIZED CAPILLARY BLOOD AMONG PATIENTS WITH CHRONIC RESPIRATORY DISEASES: A DIFFERENTIATED APPROACH TO CLINICAL EVALUATION

A.I.Nagaev, E.A.Shergina, N.L.Karpina

Federal State Budgetary Scientific Institution "Central Tuberculosis Research Institute", 2 Yauzskaya alley, Moscow, 107564, Russian Federation

SUMMARY. Introduction. To form a well-grounded judgment on changes in gas exchange over time during corrective oxygen therapy, instrumental diagnostic procedures, exercise testing, and assessment of pharmacological effects, it is important to know the repeatability of blood gas indicators, including all possible errors of measurement (technical, methodological and physiological). **Aim.** To investigate the repeatability of blood gas indicators and oxygen saturation in arterialized capillary blood among patients with chronic respiratory diseases (CRDs) to ensure an objective evaluation of observed changes. **Materials and methods.** A single-center observational prospective study included 200 patients over 18 years of age diagnosed with chronic respiratory diseases: 110/200 (55.0%) with various clinical forms of pulmonary tuberculosis, 58/200 (29.0%) with interstitial lung diseases, and 32/200 (16.0%) with chronic obstructive pulmonary disease. Two samples of arterialized capillary blood were collected at a 30-minute interval. Partial pressures of oxygen (PaO_2) and carbon dioxide (PaCO_2), as well as oxygen saturation (SaO_2), were analyzed using the Easy Blood Gas analyzer (Medica, USA). Repeatability, individual coefficient of variation, minimum significant change, and absolute and relative measurement errors for PaO_2 , PaCO_2 , and SaO_2 were calculated. Statistical processing was performed using MS Excel 2016 for Windows, IBM SPSS Statistics 23, and STATISTICA 10 with nonparametric methods. **Results.** The repeatability of PaO_2 results was higher than that of SaO_2 by more than twofold (3.67 vs 1.14), despite a strong correlation between these parameters. In contrast, under severe gas exchange disorders, the repeatability of PaO_2 and SaO_2 was almost identical (2.86 and 2.89, respectively). The repeatability value for PaCO_2 was 1.92 but increased to 4.16 in cases of moderate hypercapnia. **Conclusion.** In patients with chronic respiratory diseases, differences in arterialized capillary blood gas and oxygen saturation values of 3.67 mm Hg for PaO_2 , 1.14% for SaO_2 , and 1.94 mm Hg for PaCO_2 (upon repeated measurements in the same patient) should be considered clinically significant. Given the representative sample, inclusion criteria, distribution of data, 95% CI calculations, and precision of the measurement conditions, the authors propose that these findings can be applied to clinical practice.

Key words: repeatability, arterialized capillary blood, chronic respiratory disease.

Исследование уровня парциального напряжения кислорода, углекислого газа и насыщения крови кислородом (сатурации) широко используется в практической медицине. В клинической практике для оценки кардио-респираторного статуса больных определение насыщения крови кислородом чаще проводят с помощью чрезкожной пульсоксиметрии – неинвазивным, простым в использовании и высокоинформативным методом фотоплетизмографии. Существенно реже, в основном, в многопрофильных стационарах, используют электрохимический (газоаналитический) метод измерения с помощью селективных электродов газоанализатора. Этот метод позволяет определять напряжение кислорода и углекислого газа артериальной крови, а также рассчитать насыщение крови кислородом. Данные показатели крайне важны для оценки эффективности легочного газообмена у больных с хроническими заболеваниями органов дыхания (ХЗОД). Их величины служат критериями наличия и степени выраженности дыхательной недостаточности (ДН), определения показаний к назначению корректирующей оксигенотерапии, оценки эффективности любого вида лечения, контроля при проведении инструментальных методов исследования [1–4].

Интерпретация результатов однократных исследований вышеупомянутых показателей, обычно, не вы-

зывает затруднений в связи с достаточно хорошо разработанной нормативной базой [1–6]. Трактовка же повторных исследований в динамике является более сложной задачей из-за недостаточности информации по оценке таких результатов. У любого конкретного человека при повторном измерении газов артериализованной капиллярной крови (АКК) с течением времени обнаруживается некоторая степень изменений. Изменение может быть результатом ухудшения или улучшения состояния. Для того, чтобы отличить погрешность проводимых измерений от фактически происходящих сдвигов необходимо учитывать повторяемость показателя. На значение показателей исследования влияют погрешность прибора, как измерительной системы, методические ошибки оператора, выполняющего исследование, физиологические колебания изучаемого параметра [7–10]. Величина повторяемости показателей газов крови и насыщения кислородом важна для объективной оценки состояния газообмена на фоне лечебных воздействий. Знание повторяемости измерения путем определения величины внутрииндивидуального компонента сдвига необходимо для того, чтобы обнаружить истинное изменение клинического состояния данного больного. Оценка газов АКК, с учетом повторяемости, обеспечит принятие своевременных решений лечащими врачами, направленных на коррекцию

изменений. Таким образом, повторяемость имеет важное практическое значение.

Работы зарубежных авторов посвящены исследованию изменчивости показателей газов крови артериальной и венозной крови [11–13] у больных, находящихся в тяжелом состоянии, в отделениях реанимации и интенсивной терапии, где повторные заборы крови можно проводить многократно через артериальные и центральные венозные катетеры. В клинической практике, из-за сложности получения артериальной крови, при необходимости многократных повторных исследований вместо артериальной крови, в качестве альтернативы, используют артериализованную капиллярную кровь [14, 15]. Научные работы отечественных авторов, посвящены, в основном, исследованию повторяемости показателей вентиляционной функции легких и эргоспирометрических параметров у здоровых лиц [7, 10, 16]. Данных по величине повторяемости показателей газов и сатурации АКК газоаналитическим методом у больных с ХЗОД в доступной литературе мы не встретили.

Цель работы: изучение повторяемости результатов исследования газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови у стабильных больных с хроническими заболеваниями органов дыхания для объективной оценки их изменений в динамике.

Материалы и методы исследования

Одноцентровое обсервационное проспективное сплошное исследование выполнено на базе отделения функциональной диагностики Центра диагностики и реабилитации заболеваний органов дыхания Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза» в период 2021–2023 гг. Для отбора больных в исследование использовались следующие критерии. Критерии включения: больные старше 18 лет с установленным диагнозом ХЗОД. Критерии невключения: больные младше 18 лет; любые хронические заболевания в стадии декомпенсации. Анализ клинического статуса больных проводился на основании данных медицинской документации, внесенной в нее информации. На основании критериев включения и невключения было отобрано 200 больных, из которых было мужчин и женщин по 100/200 (50%). Медиана возраста всех больных составила 42 [95%ДИ 40–46] года.

Среди больных встречались следующие ХЗОД: 110/200 (55,0%) случаев туберкулеза легких с различными клиническими формами, 58/200 (29,0%) случаев с интерстициальными заболеваниями легких (саркоидоз, гиперсенситивный пневмонит), 32/200 (16,0%) случаев с хроническими обструктивными заболеваниями легких (хроническая обструктивная болезнь легких, бронхиальная астма).

Размер выборки в 200 человек был необходим для обеспечения хорошей точности оценки повторяемости

по 2 измерениям с шириной доверительного интервала 95% и стандартного отклонения не более $\pm 10\%$ для обеспечения репрезентативности полученных данных.

Под повторяемостью понимали прецизионность в условиях повторяемости [17]. За условия повторяемости принимали условия, при которых независимые результаты повторных измерений получают одним и тем же методом на идентичных объектах измерений (больных) в одной и той же лаборатории с применением одних и тех же средств измерений, одним и тем же оператором (врачом, медицинской сестрой) с использованием одного и того же оборудования в течение короткого периода времени. Для определения повторяемости, всем обследованным, по направлению лечащего врача, было проведено исследования газов и насыщения кислородом АКК газоаналитическим методом в состоянии покоя, в количестве 2 измерений. Кровь для определения газов крови и кислотно-основного состояния брали из мочки уха, предварительно гиперемизированной мазью «Финалгон». Анализ выполнялся на автоматическом газоанализаторе «Easy Blood Gas» (Medica, США). Во всех пробах АКК определяли: парциальное напряжение кислорода (PaO_2), парциальное напряжение углекислого газа (PaCO_2), степень насыщения крови кислородом (SaO_2). Повторное исследование проводили с добровольного согласия больных через 25–35 минут, средняя величина времени повторного исследования $30,0 \pm 2,7$ мин. Все обследованные в этот период времени были клинически стабильны. Клиническая стабильность пациентов оценивалась лечащими врачами до направления на исследование газов АКК на основании оценки функции жизненно важных органов. Больные, имеющие кислородную зависимость или респираторную поддержку не включались в исследование ввиду тяжести состояния. Кроме того, больные в период проведения забора крови, в промежуток времени между процедурами не предъявляли жалоб на ухудшение самочувствия, не имели признаков ухудшения состояния.

Показатели газов крови PaO_2 , PaCO_2 оценивали в абсолютных величинах (мм рт.ст.), SaO_2 – в процентах. Интерпретация анализа газов АКК проводилась в соответствии с литературными данными [1, 3–6]. Границей нормальных значений PaO_2 считали ≥ 80 мм рт.ст., PaCO_2 – 35–45 мм рт.ст., SaO_2 – $\geq 95\%$. Градация отклонений была следующей: умеренные – PaO_2 79–60 мм рт.ст., PaCO_2 34–28 мм рт.ст. и 46–50 мм рт.ст., SaO_2 94–90%; значительные – PaO_2 59–50 мм рт.ст., PaCO_2 27–20 мм рт.ст. и 51–60 мм рт.ст., SaO_2 89–80%; резкие – PaO_2 <49 мм рт.ст., PaCO_2 <19 мм рт.ст. и >61 мм рт.ст., SaO_2 <79 %.

Поскольку результаты повторных измерений показателей в процессе одного исследования (или повторных исследований на протяжении некоторого срока наблюдения) различались между собой, за действительное значение показателя мы принимали его среднее значение. Учитывая, что повторяемость

фактически не зависит от числа произведенных измерений в процессе каждого исследования, для ее оценки использовали формулу [7]:

$$x = \bar{X} \pm 1,96\sigma,$$

где x – значение повторяемости показателя при 95% уровне значимости, $\bar{X}$ – среднее значение величин разниц парных измерений, σ – усредненное среднеквадратичное отклонение повторных определений показателя.

Повторяемость выражали в абсолютных величинах и в процентах относительно среднего значения.

Рассчитывали индивидуальный коэффициент вариации (CVw). CVw представляет собой стандартное отклонение, скорректированное на среднее значение парных измерений. CVw рассчитывался по формуле [13]:

$$CVw \% = \sqrt{\{[\Sigma(a-b)^2/2n]\}/[(Ma + Mb)/2]} \times 100,$$

где a и b – первое значение и второе значение измерения, Ma и Mb – средние значения для двух групп a и b , n – количество парных наблюдений.

Определяли наименьшее значимое изменение (LSC). LSC – это минимальное изменение, которое необходимо измерить лабораторным анализатором, чтобы распознать реальное изменение измерения. LSC рассчитывали по следующему уравнению [13]:

$$LSC \% = CVw \times 1,96 \times \sqrt{2}.$$

Дополнительно рассчитывали: абсолютную и относительную погрешности измерений [18] PaO_2 , $PaCO_2$ и SaO_2 .

Результаты исследования обрабатывались при помощи пакета статистических программ MS EXCEL 2016 для Windows, IBM SPSS Statistics 23 и STATIS-

TICA 10. Характер распределения данных оценивался по критерию Андерсона—Дарлинга и с использованием квантильных диаграмм Q-Q plots. При необходимости, полученное ненормальное распределение первичных данных приводили к нормальному, используя преобразование Йео-Джонсона. Количественные переменные, имеющие нормальное распределение, описывали в форме среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), в случае отличного от нормального распределения – в виде медианы и 25 нижнего и 75 верхнего квартилей, $Me [Q1-Q3]$, и доверительного интервала с заданной доверительной вероятностью в 95% (95% ДИ), если не указано иное. Проводилось округление цифровых величин до значимых значений. Относительные величины представлены в виде: процент $\pm$ ошибка процента, $P \pm OШ$. Достоверность различий результатов парных исследований определялась с помощью одновыборочного критерия Вилкоксона, попарных исследований с использованием критериев Краскелла-Уолиса и Манна-Уитни-Вилкоксона. Наличие и силу корреляционной связи проверяли с использованием коэффициента Кендалла. Достоверной считалась разница при уровне значимости $p < 0,05$. Оценку чувствительности и специфичности повторяемости и LSC к изменениям показателей газов и насыщения кислородом АКК у больных ХЗОД при повторных измерениях оценивали посредством ROC-анализа. Количественную интерпретацию ROC оценивали посредством показателя AUC (Area Under Curve, площадь под ROC-кривой).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты первичного исследования газов и насыщения кислородом АКК у обследуемых больных представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты первичного анализа значений показателей газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови у обследованных больных, $Me [Q1-Q3]$, 95% ДИ, $n=200$

Показатель, единица измерения	Полученное значение	Направленность изменения	Частота изменения $P \pm OШ$, %	Выраженность нарушения, %, $P \pm OШ$, %		
				умеренная	значительная	резкая
PaO_2 , мм рт.ст.	75,0 [67,0-81,5] 95% ДИ 75,0 [72,0-77,0]	снижение	68,5 $\pm$ 3,3	79-60	59-50	<49
				59,0 $\pm$ 3,5	6,0 $\pm$ 1,7	3,5 $\pm$ 1,3
SaO_2 , %	95,25 [93,65-96,2] 95% ДИ 95,25 [94,8-95,5]	снижение	33,0 $\pm$ 3,4	94-90	89-80	<79
				26,0 $\pm$ 3,1	5,5 $\pm$ 1,6	1,5 $\pm$ 0,9
$PaCO_2$, мм рт.ст.	37,85 [35,95-39,8] 95% ДИ 37,85 [37,5-38,4]	снижение	10,0 $\pm$ 2,1	34-28	27-20	<19
				9,5 $\pm$ 2,1	0,5 $\pm$ 0,5	-
		повышение	2,0 $\pm$ 1,0	46-50	51-60	>61
				2,0 $\pm$ 1,0	-	-

Медиана значения парциального напряжения кислорода в артериализованной капиллярной крови у обследованных больных была несколько сниженной по сравнению референсными показателями (75,0 vs 80 мм рт.ст.). Умеренная гипоксемия наблюдалась в 118/200 (59,0%) случаев, значительная – в 12/200 (6,0%) и резкая – в 7/200 (3,5%). Медиана насыщения крови кислородом в группе обследованных пациентов была нормальной (95,25%), однако почти у трети больных наблюдалось снижение показателя, 66/200 (33,0%) случаев. Так, умеренное снижение было выявлено в 52/200 (26,0%) случаев, значительное – в 11/200 (5,5%) и резкое – в 3/200 (1,5%).

Значение PaCO_2 у больных оказалось в пределах 20–50 мм рт.ст. Медиана PaCO_2 находилась в нормальных пределах и составила 37,85 мм рт.ст. Снижение парциального напряжения углекислого газа наблюдалось в 20/200 (10,0%), а его повышение – в 4/200 (2,0%) случаев. Умеренная гипокапния наблюдалась в 19/200 (9,5%), значительная – в 1/200 (0,5%) случаев. Умеренная гиперкапния определялась в 4/200 (2,0%) случаев.

На основании анализа газового состава артериализованной крови больные имели следующие степени (рис. 1) ДН [3]. Как следует из представленных данных, больные обследованной когорты чаще имели ДН 1 степени – 23,5% случаев.



Рис. 1. Степени дыхательной недостаточности обследованных пациентов, % случаев.

Полученные результаты анализа значений показателей газообмена у больных в процессе парного исследова-

ния с интервалом в 30 минут представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа значений показателей газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови у обследованных больных, Ме [Q1-Q3], 95 % ДИ, n=200

Показатель, единица измерения	Первичное измерение	Повторное измерение	Абсолютная средняя разница, Δ	Абсолютная погрешность, ΔA	Относительная погрешность, $\delta A\%$
PaO_2 , мм рт.ст.	75,0 [67,0-81,3], ДИ 95% 75,0 [72,0-77,0]	75,0 [68,0-82,0], ДИ 95% 75,0 [73,0-77,0]	-1,0 [-2,0-1,0], ДИ 95% -1,0 [-1,0-0,0]	4,14	5,67
SaO_2 , %	95,25 [93,68-96,20], ДИ 95% 95,25 [94,8-95,5]	95,3 [93,88-96,3], ДИ 95% 95,3 [94,9-95,6]	-0,1 [-0,6-0,3], ДИ 95% -0,1 [-0,2-0,0]	1,15	1,25
PaCO_2 , мм рт.ст.	37,85 [35,98-39,75], ДИ 95% 37,85 [37,5-38,4]	36,6 [35,9-39,9], ДИ 95% 36,6 [37,2-38,4]	0,0 [-0,7-0,9], ДИ 95% 0,0 [0,0-0,2]	2,00	5,37

Медианы анализируемых показателей, полученные в ходе повторных исследований, были близки по значению. В когорте обследованных больных наблюдалась умеренная гипоксемия, нормальное насыщение крови кислородом и нормальное парциальное напряжение углекислого газа (75,0/75,0 мм рт.ст., 95,25/95,3%, 37,85/36,6 мм рт.ст., соответственно). Абсолютная

средняя разница измерений PaO_2 , SaO_2 и PaCO_2 составила – 1 мм рт.ст., -0,1% и 0 мм рт.ст., соответственно.

Частота выявления изменений значений показателей артериализованной крови при повторных измерениях представлена на кумулятивной диаграмме (рис. 2).

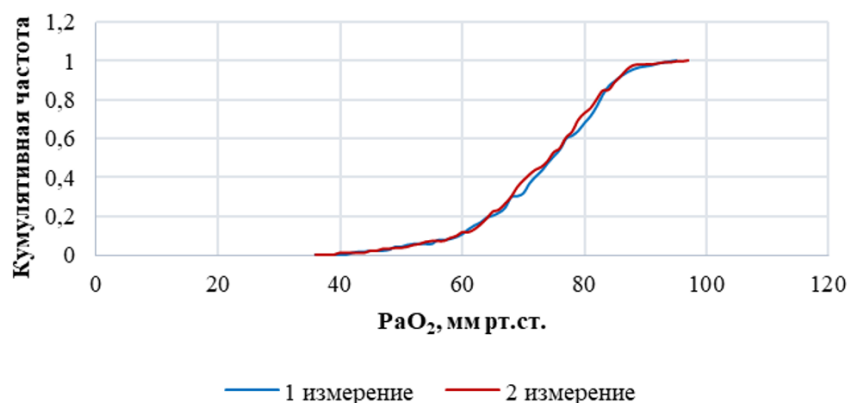


Рис. 2. Кумулятивная диаграмма распределения больных по уровню PaO_2 при первичном и повторном измерении.

При повторных измерениях PaO_2 сохранялась прежняя тенденция изменений, что и при первичном обследовании, что подтверждалось наложением кумулятивных диаграмм результатов измерения друг на

друга. Изменения насыщения крови кислородом при повторных измерениях также сохраняли прежнюю тенденцию (рис. 3).

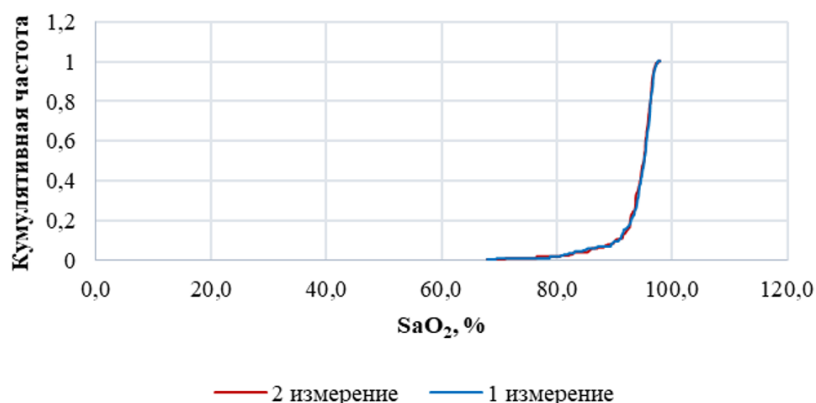


Рис. 3. Кумулятивная диаграмма распределения больных по уровню SaO_2 при первичном и повторном измерении.

Исходя из индивидуализированного подхода к анализу данных у конкретного больного и важного клинического значения получаемой информации, для дальнейших этапов исследования было необходимым получение данных с минимальной погрешностью измерений. Так, нами проводилась оценка абсолютной и относительной погрешности измерений. Минимальная

относительная погрешность была обнаружена при измерении насыщения крови кислородом, 1,25%. Однако, дальнейший анализ выявил наибольшее значение повторяемости при определении PaO_2 и наименьшую при определении SaO_2 , 3,67/1,14, соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Повторяемость, индивидуальная вариабельность, наименьшее значимое изменение показателей газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови у обследованных больных, n=200

Показатель, единица измерения	Усредненное среднеквадратичное отклонение, сп	Повторяемость, x	Индивидуальная вариабельность, CV_w %	Наименьшее значимое изменение, LSC, %
PaO_2 , мм рт.ст.	3,52	3,67	2,53	7,06
SaO_2 , %	0,34	1,14	0,61	1,70
PaCO_2 , мм рт.ст.	0,96	1,92	2,59	7,15

Анализ индивидуальной вариации значений изучаемых показателей выявил, что наибольший процент отклонений (от принятых нормативов) характеристик газового анализа крови был связан с определением PaCO_2 и составлял 2,59 %, а наименьший – с определением SaO_2 – 0,61%. Наименьшие значимые изменения для PaO_2 , SaO_2 и PaCO_2 составляли соответственно 7,06/1,7/7,1%.

Проводился анализ достоверности различий результатов парных исследований, который выявил что имеются статистически значимые различия PaO_2 и SaO_2 между первым и вторым измерениями ($W = 113$; $p = 0,0048$ и $W = 6834$; $p = 0,036$, соответственно). Между PaCO_2 при первом и повторном измерении статистически значимых различий не отмечалось ($W = 49,47$; $p = 0,94$).

При анализе корреляционных связей с использованием коэффициента Кендалла нами была обнаружена сильная положительная связь ($r_1 = 0,960$, $r_2 = 0,957$) между показателями PaO_2 и SaO_2 при повторных измерениях, $p < 0,05$.

Для дальнейшего анализа все больные были разделены по полу и на подгруппы по возрасту: I – 18-40 лет, 87/200 (43,5%); II – 41-60 лет, 76/200 (16,35%); III – >60 лет, 37/200 (18,5%). Проводилось попарное сравнение значений показателей газов и насыщения кислородом АКК с использованием критериев Краскелла-Уолиса и Манна-Уитни-Вилкоксона (табл. 4). Статистически значимых различий показателей газов и насыщения кислородом АКК у больных ХОЗД в зависимости от пола и возраста выявлено не было.

Таблица 4

Анализ попарного сравнения показателей газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови в группах обследованных больных в зависимости от пола и возраста, n=200

Критерий	Показатель, единица измерения	Результат статистического анализа
пол	PaO_2 , мм рт.ст.	$H = 0,92$, $df = 1$, $p = 0,63^*$
	SaO_2 , %	$H = 0,04$, $df = 1$, $p = 0,9795$
	PaCO_2 , мм рт.ст.	$H = 0,61$, $df = 1$, $p = 0,74$
возраст	PaO_2 , мм рт.ст.	$U = 4663,5$; $Z = 0,47$; $p = 0,64^{**}$
	SaO_2 , %	$U = 4414,5$; $Z = -1,09$; $p = 0,28$
	PaCO_2 , мм рт.ст.	$U = 4613,0$; $Z = 0,59$; $p = 0,55$

Примечание: * – критерий Краскелла-Уолиса; ** – критерий Манна-Уитни-Вилкоксона.

Достаточно часто при проведении функциональных исследований обнаруживаются различия в значениях в зависимости от половозрастной характеристики обследуемых лиц. В нашем исследовании при разделении группы пациентов на подгруппы по полу и возрасту обнаруживались изменения повторяемости показателей газов и насыщения кислородом АКК до 1,20 по PaO_2 , однако эти изменения были статистически не значимы (табл. 5).

При дальнейшем рассмотрении полученных результатов была выявлена статистическая значимость повышения повторяемости при снижении насыщения кислородом АКК больных ХЗОД (табл. 6).

Наличие статистически значимого повышения повторяемости при снижении насыщения кислородом АКК больных ХЗОД может приводить к ошибочной трактовке нарушений газообмена и степени выраженности ДН у конкретного больного в динамике. В связи с этим нами была проведена оценка чувствительности и специфичности повторяемости (рис. 4 а, б) и LSC

(рис. 4 в, г) к изменениям насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови при повторных измерениях, которую оценивали посредством ROC-анализа, результаты представлены на рисунке 4.

Из рисунка 4 видно, что при оценке насыщения кислородом АКК в динамике с использованием повторяемости повторные значения могут быть переоценены или недооценены (а, б), в то время как при использовании наименьшего значимого изменения, рассчитанного на основе индивидуального коэффициента вариации, лучше оценивались реальные изменения (в, г). При расчете чувствительности и специфичности, LSC показывало лучшие результаты чем повторяемость (табл. 7). Однако, основываясь на экспертной шкале для значений площади под кривой (AUC) можно было говорить о достаточно качественной прогностической модели, $AUC > 0,9$, следовательно, оба показателя (повторяемость, LSC) оценки могут быть использованы в клинической практике.

Таблица 5

Анализ различий повторяемости показателей газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови в группах обследованных больных в зависимости от пола и возраста, n=200

Критерий	Подгруппа	Показатель, единица измерения	Повторяемость
пол*	мужской	PaO ₂ , мм рт.ст.	3,42
		SaO ₂ , %	1,24
		PaCO ₂ , мм рт.ст.	1,60
	женский	PaO ₂ , мм рт.ст.	3,90
		SaO ₂ , %	1,02
		PaCO ₂ , мм рт.ст.	2,15
возраст**	18-40 лет	PaO ₂ , мм рт.ст.	2,53
		SaO ₂ , %	2,22
		PaCO ₂ , мм рт.ст.	0,62
	41-60 лет	PaO ₂ , мм рт.ст.	2,03
		SaO ₂ , %	1,64
		PaCO ₂ , мм рт.ст.	0,80
	>60 лет	PaO ₂ , мм рт.ст.	1,33
		SaO ₂ , %	1,56
		PaCO ₂ , мм рт.ст.	0,47

Примечание: * – достоверность разницы повторяемости $p > 0,05$ (критерий Манна-Уитни-Вилкоксона); ** – достоверность разницы повторяемости $p > 0,05$ (критерий Краскелла-Уолиса).

Таблица 6

Различия повторяемости показателей газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови при различных типах и степени нарушений газообмена, n=200

Показатель, единица измерения	Тип нарушения	Выраженность нарушения, повторяемость			Результат статистического анализа *
		умеренная	значительная	резкая	
PaO ₂ , мм рт.ст.	гипоксемия	79-60	59-50	<49	H = 3,72, df = 2, p = 0,16
		3,71	3,07	2,86	
SaO ₂ , %	снижение насыщения	94-90	89-80	<79	H = 9,78, df = 2, p = 0,0075
		1,32	2,07	2,89	
PaCO ₂ , мм рт.ст.	гипокапния	34-28	27-20	<19	H = 0,57, df = 2, p = 0,75
		2,21	3,74	-	
	гиперкапния	46-50	51-60	>61	
		4,16	-	-	

Примечание: * – критерий Краскелла-Уолиса.

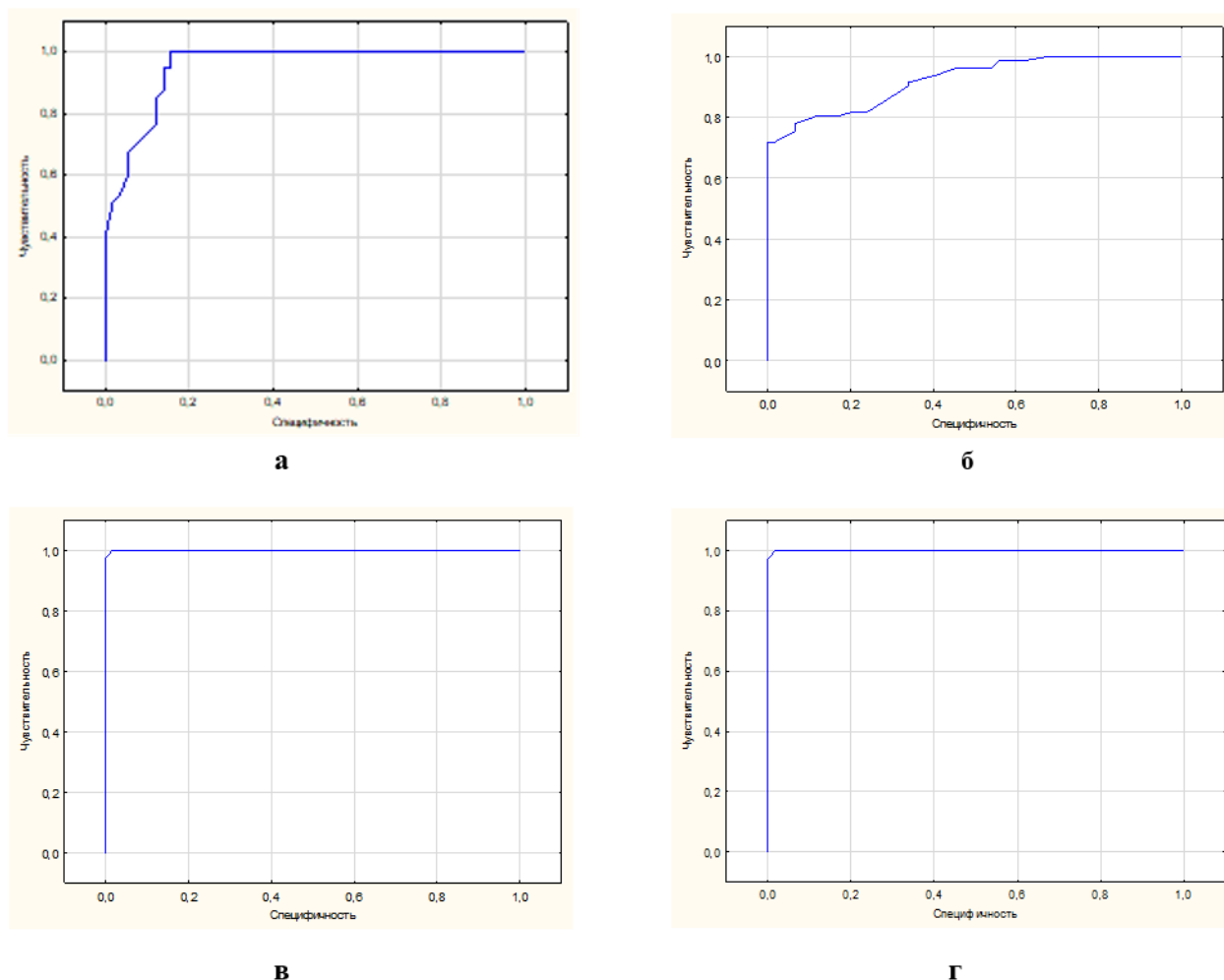


Рис. 4. Результаты ROC-анализа повторяемости и LSC к изменениям насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови при повторных измерениях. Значение чувствительности представлены по оси у, специфичности – по оси х, а – повторяемость при нормальном уровне SaO_2 , б – повторяемость при снижении SaO_2 , в – LSC при нормальном уровне SaO_2 , г – LSC при снижении SaO_2 .

Таблица 7

Различия повторяемости показателей газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови при различных типах нарушений газообмена, n=200

Способ оценки повторного измерения	Направленность изменений	Чувствительность	Специфичность	AUC
повторяемость	+	100	85	0,95
	-	100	38	0,92
LSC	+	100	90	0,99
	-	100	90	0,99

Цифровые значения парциального напряжения кислорода, углекислоты и насыщения крови кислородом являются важными параметрами для характеристики газообмена. Для оценки динамики его изменений у больных ХЗОД необходимо достоверно и обоснованно отличать фактически происходящие изменения показателей газообмена от погрешности повторных изме-

рений. В нашей работе анализировались два способа оценки повторных результатов анализов показателей газов и насыщения кислородом АКК у больных ХЗОД с помощью повторяемости и наименьшего значимого изменения, рассчитанного на основе индивидуального коэффициента вариации. Величины повторяемости и наименьшего значимого изменения анализируемых па-

раметров имели количественные различия, несмотря на высокую специфичность. В нашем исследовании была наглядно продемонстрирована более высокая специфичность показателя повторяемости при оценке в динамике. Мы считаем, что поскольку исследование проводилось на репрезентативной выборке, с учетом критериев включения, характера распределения данных, расчетом 95% ДИ, в условиях прецизионности, то его результаты могут быть использованы в клинической практике.

Для анализа легочного газообмена по диагностике PaO_2 было установлено повышение повторяемости результатов, в то время как по SaO_2 повторяемость ниже более чем в 2 раза (3,67 vs 1,14, соответственно), несмотря на высокую корреляционную взаимосвязь между показателями. Однако, при тяжелых расстройствах газообмена повторяемость значений PaO_2 и SaO_2 была практически идентична (2,86 и 2,89, соответственно). Величина повторяемости PaCO_2 составляла 1,92, но уже при умеренной гиперкапнии она повышалась до 4,16.

Представленные данные повторяемости показателей газов и насыщения кислородом АКК у больных ХЗОД повышают достоверность и обоснованность заключений по результатам исследования, так как эти сведения необходимы для выявления изменений при первичном обследовании и при оценке достоверности различий повторных исследований при динамическом наблюдении за состоянием больного.

Кроме того, показатель повторяемости рассчитывается достаточно просто по сравнению с наименьшим

значимым изменением и выражается в тех же величинах измерения, что и анализируемая величина, а его значение не зависит от пола и возраста обследуемых.

Ограничения проведенного исследования

В данном исследовании была изучена относительно небольшая группа больных, в связи, с чем полученные результаты могут быть высокоспецифичными для изучаемой выборки. Однако, анализ проводился с учетом ненормального ассиметричного распределения данных и расчетом 95% ДИ, что повышает репрезентативность полученных результатов.

Вывод

При получении значений показателей газов и насыщения кислородом артериализованной капиллярной крови, отличающихся на 3,67 мм рт.ст. для PaO_2 , на 1,14% для SaO_2 и на 1,94 мм рт.ст. для PaCO_2 , при повторных измерениях у одного и того же больного ХЗОД следует считать эти значения клинически значимыми.

Конфликт интересов

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

Источники финансирования

Исследование проводилось без участия спонсоров

Funding Sources

This study was not sponsored

ЛИТЕРАТУРА

1. Интенсивная терапия в пульмонологии: в 2-х т. / под ред. С.Н.Авдеева. М.: Атмосфера. 2014. Т.1. С.12–67. ISBN: 978-5-902123-52-14.
2. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р., Белевский А.С., Лещенко И.В., Мещерякова Н.Н., Овчаренко С.И., Шмелев Е.И. Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению хронической обструктивной болезни легких // Пульмонология. 2014. Т.32, №3. С.15–36. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2022-32-3-356-392>
3. Авдеев С.Н., Неклюдова Г.В. Анализ газов артериальной крови // Функциональная диагностика в пульмонологии / под ред. З.Р.Айсанова, А.В.Черняка. М.: Атмосфера, 2016. С.129–148. ISBN: 978-5-902123-68-2.
4. Хеннеси А.А.М., Джапп А.Дж. Анализ газов артериальной крови понятным языком / под ред. В.Л.Кассиля. М.: Практическая медицина, 2009. 140 с.
5. Баймаканова Г.Е. Интерпретация показателей газов крови // Атмосфера. Пульмонология и аллергология. 2013. №2. С.42–45. EDN: RCJYLB.
6. Аганезова Е.С. Газы и кислотно-щелочное состояние крови // Руководство по клинической физиологии дыхания / под ред. Л.Л.Шика, Н.Н.Канаева. Л.: Медицина, 1980. С.182–209.
7. Канаев Н.Н., Кирюхин А.Б. Воспроизводимость и повторяемость показателей дыхания // Терапевтический архив. 1974. Т.46, №5. С.97–101.
8. Канаев В.В. Общие вопросы методики исследования и критерии оценки показателей дыхания // Руководство по клинической физиологии дыхания / под ред. Л.Л.Шика, Н.Н.Канаева. Л.: Медицина, 1980. С.21–36.
9. Гришин О.В., Гришин В.Г. Клиническое значение пульсоксиметрии у взрослых // Медицинский алфавит. 2020. №25. С.3–21. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-25-13-21>
10. Каков С.В., Мулер В.П. Пульсоксиметрия // Вестник новых медицинских технологий 2006. Т.13, №1. С.171–172. EDN: KZJNVN.
11. Thorson S.H., Marini J.J., Pierson D.J., Hudson L.D. Variability of arterial blood gas values in stable patients in the ICU // Chest. 1983. Vol.84, Iss.1. P.14–18. <https://doi.org/10.1378/chest.84.1.14>
12. Hess D., Agarwal N.N. Variability of blood gases, pulse oximeter saturation, and end-tidal carbon dioxide pressure

in stable, mechanically ventilated trauma patients // *J. Clin. Monit.* 1992 Vol.8, Iss.2. P.111–115. <https://doi.org/10.1007/BF01617428>

13. Mallat J., Lazkani A., Lemyze M., Pepy F., Meddour M., Gasan G., Temime J., Vangrunderbeeck N., Tronchon L., Thevenin D. Repeatability of blood gas parameters, PCO₂ gap, and PCO₂ gap to arterial-to-venous oxygen content difference in critically ill adult patients // *Medicine (Baltimore)*. 2015. Vol.94, Iss.3. Article number:e415. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000415>

14. Glasgow J.F., Flynn D.M., Swyer P.R. A comparison of descending aortic and «arterialized» capillary blood in the sick newborn // *Can. Med. Assoc. J.* 1972. Vol.106, Iss.6. P.660–662.

15. Kanarek D.J., Goldman H.I., Zwi S. Arterial oxygen tension values in normal adults at an altitude of 1763 metres // *S. Afr. Med. J.* 1972. Vol.46, Iss.12. P.315–317.

16. Канаев Н.Н., Кирюхин А.Б. К вопросу об оценке воспроизводимости и повторяемости показателей легочного дыхания // Организационные и методические вопросы клинической физиологии дыхания. Л., 1973. С.39–45.

17. Статистические методы. Примеры измерений при анализе повторяемости и воспроизводимости. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200123080>

18. Заляжных В.В., Коптелов А.Е. Статистические методы контроля и управления качеством: учебное пособие для вузов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 91 с.

REFERENCES

1. Avdeyev S.N., editor. [Intensive care in pulmonology (Vol.1)]. Moscow: Atmosfera; 2014 (in Russian). ISBN: 978-5-902123-52-14.

2. Chuchalin A.G., Avdeyev S.N., Aysanov Z.R., Belevskiy A.S., Leshchenko I.V., Meshcheryakova N.N., Ovcharenko S.I., Shmelev Ye.I. [Federal guidelines on diagnosis and treatment of chronic obstructive pulmonary disease]. *Pul'monologiya = Russian Pulmonology* 2014; (3):15–36 (in Russian). <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2022-32-3-356-392>

3. Avdeyev S.N., Neklyudova G.V. [Arterial blood gas analysis. In: Aysanova Z.R., Chernyak A.V., editors. Functional diagnostics in pulmonology]. Moscow: Atmosfera; 2016:129–148 (in Russian). ISBN: 978-5-902123-68-2.

4. Khennesi A.A.M., Dzhabp A.Dzh. [Arterial blood gas analysis in plain english. Kassil' V.L., editor]. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2009 (in Russian).

5. Baymakanova G.E. [Interpretation of blood gas values]. *Atmosfera. Pul'monologiya i Allergologiya* 2013; 2:42–45 (in Russian).

6. Aganezova Ye. [Gases and acid-base balance of blood. In: Shik L.L., Kanayev N.N., editors. Manual of clinical physiology of respiration]. Leningrad: Meditsina; 1980:182–209 (in Russian).

7. Kanaev N.N., Kiryukhin A.B. [Reproducibility and repeatability of respiratory parameters]. *Terapevticheskiy arkhiv* 1974; 46(5):97–101 (in Russian).

8. Kanaev V.V. [General issues of research methodology and criteria for assessing respiratory parameters In: Shik L.L., Kanayev N.N., editors. Manual of clinical physiology of respiration]. Leningrad: Meditsina; 1980:21–36 (in Russian).

9. Grishin O.V., Grishin V.G. [Clinical use of pulse oximetry in adults]. *Meditsinskiy alfavit = Medical Alphabet* 2020; 25:13–21 (in Russian). <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-25-13-21>

10. Kakov S.V., Muler V.P. [Pulseoximetry]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy = Journal of New Medical Technologies* 2006; 13(1):171–172 (in Russian).

11. Thorson S.H., Marini J.J., Pierson D.J., Hudson L.D. Variability of arterial blood gas values in stable patients in the ICU. *Chest* 1983; 84(1):14–18. <https://doi.org/10.1378/chest.84.1.14>

12. Hess D., Agarwal N.N. Variability of blood gases, pulse oximeter saturation, and end-tidal carbon dioxide pressure in stable, mechanically ventilated trauma patients. *J. Clin. Monit.* 1992; 8(2):111–115. <https://doi.org/10.1007/BF01617428>

13. Mallat J., Lazkani A., Lemyze M., Pepy F., Meddour M., Gasan G., Temime J., Vangrunderbeeck N., Tronchon L., Thevenin D. Repeatability of blood gas parameters, PCO₂ gap, and PCO₂ gap to arterial-to-venous oxygen content difference in critically ill adult patients. *Medicine (Baltimore)* 2015; 94(3):e415. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000415>

14. Glasgow J.F., Flynn D.M., Swyer P.R. A comparison of descending aortic and «arterialized» capillary blood in the sick newborn. *Can. Med. Assoc. J.* 1972; 106(6):660–662.

15. Kanarek D.J., Goldman H.I., Zwi S. Arterial oxygen tension values in normal adults at an altitude of 1763 metres. *S. Afr. Med. J.* 1972; 46(12):315–317.

16. Kanaev N.N., Kiryukhin A.B. [On the issue of assessing the reproducibility and repeatability of pulmonary respiration indices. In: Organizational and methodological issues of clinical physiology of respiration]. Leningrad; 1973:39–45 (in Russian).

17. [Statistical methods. Selected illustrations of measurements at the repeatability and reproducibility studies]. (in Russian). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200123080>

18. Zalyazhnykh V.V., Koptelov A.E. [Statistical methods of quality control and management]. Arkhangel'sk: AGTU; 2004 (in Russian).

Информация об авторах:

Андрей Игоревич Нагаев, врач-функциональной диагностики, отделение функциональной диагностики Центра диагностики и реабилитации заболеваний органов дыхания, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»; <http://orcid.org/0000-0002-2498-4329>; e-mail: fdcnit@yandex.ru

Елена Александровна Шергина, канд. мед. наук, зав. отделением функциональной диагностики Центра диагностики и реабилитации заболеваний органов дыхания, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»; <https://orcid.org/0000-0002-1433-5720>; e-mail: fdcnit@yandex.ru

Наталья Леонидовна Карпина, д-р мед. наук, зам. директора по научной работе, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»; <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>; e-mail: natalya-karpina@rambler.ru

Author information:

Andrey I. Nagaev, Functional Diagnostics Physician, Functional Diagnostics Department, Centre for Diagnosis and Pulmonary Rehabilitation, Federal State Budgetary Scientific Institution “Central Tuberculosis Research Institute”; <http://orcid.org/0000-0002-2498-4329>; e-mail: fdcnit@yandex.ru

Elena A. Shergina, PhD (Med.), Head of the Functional Diagnostics Department, Centre for Diagnosis and Pulmonary Rehabilitation, Federal State Budgetary Scientific Institution “Central Tuberculosis Research Institute”; <https://orcid.org/0000-0002-1433-5720>; e-mail: fdcnit@yandex.ru

Natalya L. Karpina, PhD, DSc (Med.), Deputy Director on Scientific Work, Federal State Budgetary Scientific Institution “Central Tuberculosis Research Institute”; <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>; e-mail: natalya-karpina@rambler.ru

Поступила 18.10.2024
Принята к печати 12.02.2025

Received October 18, 2024
Accepted February 12, 2025
