



DOI: 10.20514/2226-6704-2024-14-3-190-196

УДК 616.152.21-07:616.248

EDN: PJMPUU



В. В. Гноевых*¹, А. Ю. Смирнова¹, Н. Г. Чернова¹, Ю. А. Шорохова²,
М. В. Крестьянинов¹, Е. В. Ефремова¹, И. А. Галушина³

¹ — ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», Ульяновск, Россия

² — Социально-реабилитационный центр им. Е. М. Чучкалова, Ульяновск, Россия

³ — ГУЗ Ульяновская областная клиническая больница, Ульяновск, Россия

КЛИНИКО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДЕСАТУРАЦИИ ГЕМОГЛОБИНА ПО КИСЛОРОДУ ПРИ НАГРУЗОЧНОМ ТЕСТЕ С 6-МИНУТНОЙ ХОДЬБОЙ У БОЛЬНЫХ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ

V. V. Gnoevykh*¹, A. Yu. Smirnova¹, N. G. Chernova¹, Yu. A. Shorokhova²,
M. V. Krestyaninov¹, E. V. Efremova¹, I. A. Galushina³

¹ — Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

² — Social Rehabilitation Center named after E. M. Chuchkalova, Ulyanovsk, Russia

³ — GHI Ulyanovsk regional clinical hospital, Ulyanovsk, Russia

Clinic-Functional Assessment of Hemoglobin Desaturation by Oxygen in 6-Minute Walk Test Among Patients with Bronchial Asthma

Резюме

Цель — оценить распространённость и клиническое значение феномена десатурации гемоглобина при нагрузочном тесте с 6-минутной ходьбой у больных бронхиальной астмой. Материалы и методы: обследовано 75 больных с обострением аллергической (n=39, 52 %) и смешанной (n=36, 48 %) бронхиальной астмы. Всем пациентам проводили физикальное обследование, спирометрию, СО-метрию выдыхаемого воздуха для определения HbCO, транскутанную 2-волновую пульсоксиметрию (в покое и при проведении 6-минутного нагрузочного теста) со спектральным анализом и коррекцией на уровень карбоксигемоглобина. 6-минутный тест проводили после купирования обострения бронхиальной астмы (перед выпиской из стационара), оценивая desaturation-distance ratio — отношение площади кислородной десатурации гемоглобина к пройденной дистанции и O₂-GAP index — потребность в дополнительном потоке кислорода для поддержания SpO₂ на уровне ≥88 % при проведении теста с 6-минутной ходьбой, а также динамику усталости и диспноэ до и после нагрузочного теста. У курящих больных астмой (n=36, 48 %) оценивали индекс курильщика по показателю пачка/лет. В зависимости от результатов оксиметрии во время 6-минутного теста пациентов разделили на «десатураторов» (n=28, 37 %) и «недесатураторов» (n=47, 63 %). Результаты. Оказалось, что десатурация гемоглобина по кислороду, выявленная по снижению SpO₂ ниже 90 % в ходе выполнения теста с 6-минутной ходьбой, ассоциирована с тяжестью обострения данного заболевания, более выраженными нарушениями лёгочной вентиляции и оксигенации крови и потребностью в более длительной госпитализации. Распространённость табакокурения и индекс курильщика в обеих группах были идентичными, однако у «десатураторов» мы обнаружили более высокую распространённость сочетания бронхиальной астмы и ХОБЛ по сравнению с «недесатураторами». У «десатураторов» были выявлены достоверно более высокий уровень десатурационно-дистанционного отношения и повышенная потребность в дополнительном потоке кислорода для поддержания SpO₂ на уровне ≥88 % при проведении теста с 6-минутной ходьбой, что свидетельствует о более высокой «кислородной цене» поддержания физической работоспособности. Заключение. Таким образом, высокая распространённость феномена десатурации гемоглобина по кислороду во время 6-минутного нагрузочного теста у больных бронхиальной астмой и ассоциированные с ним клиничко-функциональные нарушения подтверждают целесообразность и клиническую значимость проведения нагрузочного теста с 6-минутной ходьбой не только пациентам с ХОБЛ, но и больным бронхиальной астмой.

Ключевые слова: бронхиальная астма, 6-MWT: «десатураторы» и «недесатураторы», desaturation-distance ratio, O₂-GAP index

*Контакты: Валерий Викторович Гноевых, e-mail: valvik@inbox.ru

*Contacts: Valery V. Gnoevykh, e-mail: valvik@inbox.ru

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8009-0557>

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что данная работа, её тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов

Источники финансирования

Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования

Статья получена 29.03.2024 г.

Принята к публикации 26.04.2024 г.

Для цитирования: Гноевых В. В., Смирнова А. Ю., Чернова Н. Г. и др. КЛИНИКО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДЕСАТУРАЦИИ ГЕМОГЛОБИНА ПО КИСЛОРОДУ ПРИ НАГРУЗОЧНОМ ТЕСТЕ С 6-МИНУТНОЙ ХОДЬБОЙ У БОЛЬНЫХ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ. Архивъ внутренней медицины. 2024; 14(3): 190-196. DOI: 10.20514/2226-6704-2024-14-3-190-196. EDN: PJMPUU

Abstract

The main purpose of the study is to assess the prevalence and clinical significance of hemoglobin desaturation by oxygen during the 6-minute walk exercise test in patients with bronchial asthma. Material and methods: 75 patients with exacerbation of mixed (48 %) and allergic (52 %) bronchial asthma were examined. Research explored following methods: collecting complaints and anamnesis, physical examination, spirometry, CO-metry of exhaled air to determine carboxyhemoglobin, transcutaneous 2-wave pulse oximetry (at rest and during 6-minute walk exercise test) with spectral analysis and correction for COHb. 6-minute walk exercise test was performed after relief of asthma exacerbation (before discharge from the hospital), assessing the desaturation-distance ratio (the ratio of the area of oxygen desaturation of hemoglobin to the 6-minute walk exercise test distance), O₂-GAP index, the dynamics of fatigue and dyspnea before and after 6-minute walk exercise test. In smoking patients (n=36, 48 %), the smoker index was calculated. Based on oximetry results during the 6-minute walk exercise test, patients were divided into "desaturators" (n=28, 37 %) and "non-desaturators" (n=47, 63 %). Results. The findings of the research illustrated that hemoglobin desaturation by oxygen, detected by reducing SpO₂ to <90 % during 6-minute walk exercise test, was associated with the severity of this disease exacerbation, more pronounced impairment of pulmonary ventilation and blood oxygenation, and the demand for longer hospitalization. The prevalence of tobacco smoking and the magnitude of the smoker index in both groups were identical but in "desaturators" we found a higher prevalence of the combination of asthma and COPD compared to "non-desaturators." The "desaturators" had significantly higher level of desaturation-distance ratio and increased demand for additional oxygen flow to maintain SpO₂ at ≥88 % during a 6-minute walk test, which indicates a higher "oxygen price" of physical activity in this group of patients. Conclusion. Thus, the high prevalence of the phenomenon of hemoglobin oxygen desaturation during 6-minute walk exercise test in patients with asthma and associated clinic-functional disorders supports the feasibility and clinical significance of conducting a stress test with a 6-minute walk not only in COPD patients, but also in bronchial asthma patients.

Key words: bronchial asthma, 6-MWT: "desaturators" and "non-desaturators", desaturation-distance ratio, O₂-GAP index

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests

Sources of funding

The authors declare no funding for this study

Article received on 29.03.2024

Accepted for publication on 26.04.2024

For citation: Gnoevykh V. V., Smirnova A. Yu., Chernova N. G. et al. Clinic-Functional Assessment of Hemoglobin Desaturation by Oxygen in 6-Minute Walk Test Among Patients with Bronchial Asthma. The Russian Archives of Internal Medicine. 2024; 14(3): 190-196. DOI: 10.20514/2226-6704-2024-14-3-190-196. EDN: PJMPUU

БА — бронхиальная астма; ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь лёгких; 6-MWT — нагрузочный тест с 6-минутной ходьбой; DDR — десатурационно-дистанционное отношение при 6-MWT; SpO₂, % — насыщение гемоглобина кислородом, измеренное транскутанно; HbCO, % — карбоксигемоглобин; O₂-GAP index — потребность в дополнительном потоке кислорода для поддержания SpO₂ на уровне ≥88 % при проведении теста с 6-минутной ходьбой; ОФВ₁ — объём форсированного выдоха за 1 секунду; ЖЕЛ и ФЖЕЛ — жизненная и форсированная жизненная ёмкости лёгких; ОФВ₁/ФЖЕЛ — индекс Генслера; ИБМ/ФГ — ипратропия бромид моногидрат/фенотерола гидробромид; Q₂₅, Q₇₅ — верхний и нижний квартили BA — bronchial asthma; COPD — chronic obstructive pulmonary disease; 6-MWT — 6-minute walking test; DDR — desaturation-distance ratio at 6-MWT; SpO₂, % — hemoglobin oxygen saturation, measured transcutaneously; HbCO, % — carboxyhemoglobin; O₂-GAP index — demand for additional oxygen flow to maintain SpO₂ at ≥88 % during a 6-minute walk test; FEV₁ — forced expiratory volume in 1 second; VC and FVC — vital and forced vital capacity of the lungs; FEV₁/FVC — Gensler index; IBM/FG — ipratropium bromide monohydrate/fenoterol hydrobromide; Q₂₅, Q₇₅ — upper and lower quartiles

Введение

В пульмонологии нагрузочный тест с 6-минутной ходьбой (6-MWT) активно применяется у больных хронической обструктивной болезнью лёгких для оценки их физической работоспособности и прогноза. При этом анализируют не только пройденную дистанцию, но и состояние оксигенации крови, которое у части пациентов характеризуется кислородной десатурацией гемоглобина. Под феноменом десатурации гемоглобина по кислороду во время 6-MWT понимают снижение

насыщения гемоглобина кислородом (SpO₂) ниже 90 % или снижение SpO₂ на ≥4 % по сравнению с исходным уровнем оксигемоглобина в покое перед 6-минутной ходьбой [1].

Доказано, что у больных хронической обструктивной болезнью лёгких (ХОБЛ) кислородная десатурация гемоглобина при 6-MWT прогностически неблагоприятна в отношении летальности, частоты обострений, скорости снижения легочной функции и тощей массы тела [2]. Так, у больных ХОБЛ с десатурацией при

проведении 6-MWT был выявлен вдвое более высокий риск летального исхода, риск среднетяжелых и тяжелых обострений данного заболевания оказался повышен в 1,5 раза, скорость снижения легочной функции была в 2 раза более высокой в сочетании с многократным увеличением риска потери тощей массы тела [1-3]. В ряде исследований была выявлена обратная связь между отношением площади кислородной десатурации гемоглобина к пройденной во время 6-MWT дистанции и такими клинико-функциональными параметрами, как объём форсированного выдоха за 1 сек. (ОФВ₁) и трансфер-фактор [4].

Известно, что физическая нагрузка — один из факторов риска бронхиальной астмы (БА). В 2020 г. в Италии было завершено исследование, посвященное определению клинически значимого минимального изменения дистанции во время 6-MWT у больных БА при проведении реабилитации [5]. Кроме того, у части курильщиков бронхиальная астма может сочетаться с ХОБЛ, а «золотой стандарт» диагностики данного заболевания включает проведение 6-MWT.

Таким образом, целесообразность изучения распространённости и клинико-функциональных последствий десатурации гемоглобина по кислороду во время теста с 6-минутной ходьбой у больных БА актуальна. Цель работы — оценить распространённость и клиническое значение феномена десатурации гемоглобина по кислороду при нагрузочном тесте с 6-минутной ходьбой у больных бронхиальной астмой.

Материалы и методы исследования

Обследовано 75 пациентов с обострением аллергической (n=39; 52 %) и смешанной (n=36; 48 %) бронхиальной астмы, находившихся на стационарном лечении в связи с обострением данного заболевания. Критерии исключения из исследования: противопоказания к 6-MWT выполнению; невозможность выполнения теста с 6-минутной ходьбой [6]; пневмония; жизнеугрожающее обострение БА; неконтролируемая артериальная гипертония, сахарный диабет с нецелевым уровнем гликированного гемоглобина.

При постановке диагноза и проведении лечения пользовались клиническими рекомендациями по бронхиальной астме 2021 г. [7]. Применяли бронхолитики с фиксированной комбинацией ипратропия бромид моногидрата/фенотерола гидробромид (ИБМ/ФГ) преимущественно путём небулизации соответствующих растворов и системные глюкокортикостероиды в общепринятых дозировках. Кроме того, «десатураторы» и «недесатураторы» во время стационарного лечения продолжали приём ингаляционных глюкокортикостероидов или их комбинаций с длительно действующими β₂-агонистами в максимальных дозировках.

К «десатураторам» (n=28; 37 %) относили пациентов со снижением SpO₂ до уровня <90 % во время выполнения 6-MWT. Остальных пациентов с уровнем

Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов с бронхиальной астмой
Table 1. Clinical characteristics of bronchial asthma patients

Признаки Parameters	«Десатураторы», «Desaturators»	«Недесатураторы», «Non-desaturators»
Возраст, лет Age, years	50,9±1,87	55,0±2,18
М/Ж M/W	15/13	24/23
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/ m ²	29,4±1,3	28,7±0,92
Рост, м Height, m	1,7±0,02	1,7±0,01
Аллергическая БА, n(%) Allergic bronchial asthma, n(%)	14 (50)	25(53)
Смешанная БА, n(%) Mixed bronchial asthma, n(%)	14 (50)	22(47)
Среднетяжёлое обострение БА, n(%)	6(21)*	26(55)
Тяжёлое обострение БА, n(%)	22(79)*	21(45)
Эозинофилия стимулированной мокроты, n(%) Eosinophilia of sputum, n(%)	3(12)	6(13)
Артериальная гипертония, n(%) Arterial hypertension, n(%)	16(57)	31(66)
Ожирение, n(%) Obesity, n(%)	9(32)	14(29)
Стенокардия II функционального класса, n(%) Angina pectoris II functional class, n(%)	10(37)	13(27)

Примечание: БА — бронхиальная астма; * — вероятность α-ошибки = 0,009 при сравнении распространённости среднетяжёлого и тяжёлого обострений БА (критерий Хи-квадрат с поправкой Йетса); ИМТ (BMI) — индекс массы тела; М/Ж (M/W) — соотношение мужчин и женщин
Note: BA — bronchial asthma; * — probability of α-error = 0,009 when comparing the prevalence of moderate and severe exacerbations of asthma (Chi-square test with Yates' correction); BMI (BMI) — body mass index; M/W (M/W) — ratio of men to women

оксигенации крови, превышавшем 90 % во время теста с 6-минутной ходьбой считали «недесатураторами» ($n=47$; 63 %). Подробная клиническая характеристика пациентов представлена в таблице 1.

У «десатураторов», в отличие от «недесатураторов», тяжёлое обострение БА наблюдалось значительно чаще, при этом возраст, соотношение мужчин и женщин, уровень эозинофилии стимулированной мокроты и частота сопутствующих заболеваний в обеих группах были идентичными ($p>0,05$).

Всем пациентам проводили физикальное обследование, СО-метрию выдыхаемого воздуха для определения карбоксигемоглобина по экспираторной окиси углерода («Micro CO-monitor», Великобритания); спирометрию и транскутанную двухволновую пульсоксиметрию в покое и при выполнении 6-MWT («Spirodos SpO₂», Италия). 6-MWT проводили после купирования обострения БА (перед выпиской пациентов), учитывая при этом общепринятые абсолютные и относительные противопоказания [6]. При проведении 6-MWT измеряли пройденную дистанцию, анализировали динамику усталости и диспноэ до и после теста, мониторировали оксигенацию крови с коррекцией на уровень карбоксигемоглобина (HbCO), оценивали DDR по формуле:

$$DDR = \frac{DA (\%) }{Distance (m)},$$

где DA — площадь десатурации, Distance — пройденная во время 6-MWT дистанция, а также потребность «десатураторов» в дополнительном потоке кислорода для поддержания SpO₂ на уровне $\geq 88\%$ при проведении теста с 6-минутной ходьбой (O₂-GAP index) [8].

Для коррекции результатов мониторингирования оксигенации крови по HbCO использовали разработанную нами программу ЭВМ [9]. Статистическую обработку проводили с помощью программы Statistica 13.3. Применяли тест Манна-Уитни, тест Хи-квадрат (при необходимости с поправкой Йетса) или 2-сторонний точный критерий Фишера. Количественные данные в зависимости от типа распределения представлены в виде $M \pm m$ или в виде $Me [Q_{25} - Q_{75}]$. Различия анализируемых показателей и их динамику считали значимыми при вероятности α -ошибки $<0,05$.

Результаты и обсуждение

Основные результаты нагрузочного теста с 6-минутной ходьбой представлены в таблице 2.

Пройденная дистанция, выраженность диспноэ и усталости, уровни систолического и диастолического артериального давления (САД; ДАД) исходно и во время проведения 6-MWT в основной и контрольной группах достоверно не различались. Однако, в ответ на выполненную физическую нагрузку, в группе «десатураторов» мы выявили более выраженную тахикардию ($p < 0,03$). «Кислородная цена» (авторский термин) прохождения идентичной (такой же, как у «недесатураторов») дистанции в группе «десатураторов» оказалась значительно более высокой, что

подтверждается результатами сравнения в анализируемых группах уровней оксигенации крови и динамики насыщения гемоглобина кислородом при выполнении 6-MWT. Примечательно, что более низким оказался не только уровень SpO₂, измеренный во время 6-MWT (разделительный признак, использованный для формирования групп), но и исходная величина оксигенации крови. Кроме того, более высокую «кислородную цену» физической нагрузки у «десатураторов» по сравнению с контрольной группой подтверждают более высокий уровень десатурационно-дистанционного отношения (DDR) и выявленная в группе «десатураторов» потребность в дополнительном потоке кислорода для поддержания SpO₂ на уровне $\geq 88\%$ во время 6-MWT. У «недесатураторов» потребность в дополнительном кислороде отсутствовала. Таким образом, прохождение одной и той же дистанции при проведении 6-MWT требовало от «десатураторов» более выраженной активизации сердечно-сосудистой системы, при этом пациенты нуждались в дополнительном потоке кислорода для поддержания минимально приемлемого уровня SpO₂ ($\geq 88\%$).

На следующем этапе исследования мы провели сравнительную оценку состояния лёгочной вентиляции при поступлении пациентов на стационарное лечение и перед выпиской. В обеих группах была выявлена обструкция бронхиального дерева (у «десатураторов» — тяжёлая, у «недесатураторов» — умеренно тяжёлая) в сочетании со снижением жизненной и форсированной жизненной ёмкостей лёгких (ЖЕЛ; ФЖЕЛ), а также индекса Генслера, что объясняется тем, что при обструкции ЖЕЛ и, особенно, ФЖЕЛ могут снижаться [10-11]. Выраженность обструктивных нарушений лёгочной вентиляции и степень снижения ФЖЕЛ оказались достоверно более высокими у «десатураторов» по сравнению с «недесатураторами», что согласуется с более высокой распространённостью тяжёлого обострения и более высокой тяжестью обструкции в основной группе пациентов (таблица 3).

Лечение оказало достоверное положительное влияние на состояние лёгочной вентиляции в обеих группах с исчезновением имевшегося исходно различия основных параметров функции внешнего дыхания. Улучшение лёгочной вентиляции у «десатураторов» было достигнуто, в основном, за счёт более продолжительного стационарного лечения, которое у «десатураторов» составило $13,3 \pm 0,77$, а в контрольной группе — $11,4 \pm 0,35$ дней ($p=0,031$).

Учитывая более выраженные нарушения лёгочной вентиляции у «десатураторов», мы провели сравнительную оценку состояния оксигенации крови в состоянии покоя, мониторируя SpO₂ в основной и контрольной группах до лечения и перед выпиской из стационара (таблица 4).

Исходно состояние оксигенации крови у «недесатураторов» было нормальным, а в группе «десатураторов» мы обнаружили гипоксемию со снижением среднего уровня SpO₂ ниже минимально допустимого уровня в 95 %. Особенно демонстративно отличались спектральные характеристики оксигенации крови.

Таблица 2. Основные результаты нагрузочного теста с 6-минутной ходьбой
Table 2. Main results of 6-minute walking test

Показатели, M±m или Me[Q ₂₅ ; Q ₇₅] Parameters, M±m or Me[Q ₂₅ ; Q ₇₅]	«Десатураторы» «Desaturators»		«Недесатураторы» «Non-desaturators»		P	
	Исходно Initially	Нагрузочный тест с 6-минутной ходьбой 6-MWT	Исходно Initially	Нагрузочный тест с 6-минутной ходьбой 6-MWT	1	2
Дистанция, м Distance, m	396,4±12,41		402,8±13,80		0,325	
Дистанция, % Distance, %	73,3±2,36		71,9±3,17		0,736	
Диспноэ, Dispnoea	0,5[0,5-1,5]	4,0[3,0-5,0]*	0,5[0,5-1,0]	3,0[2,0-5,0]*	0,21	0,07
Усталость, баллы Fatigue, points	0,5[0,5-1,0]	3,0[2,0-4,0]*	0,5[0,5-1,0]	3,0[2,0-5,0]*	0,95	0,49
HbCO, %	1,3±0,18		1,4±0,17		0,502	
SpO ₂ кorp, %	93,9±0,52	87,3±0,57*	95,2±0,25	92,9±0,25*	0,001	0,001
SpO ₂ corr, % ΔSpO ₂ кorp≥4%	11,1±4,15 %		0,2±0,08		0,014	
ΔSpO ₂ corr≥4 % DDR, %/m	0,95[0,30-1,30]		0,10[0,00-0,40]		<0,001	
O ₂ GAP, L/min	0,24±0,120		0		-	
САД, mm Hg SBP, mm Hg	121,8±2,61	139,6±2,30	120,4±2,29	136,5±3,02	0,69	0,41
ДАД, mm Hg DBP, mm Hg	75,9±1,48	81,4±1,15	75,7±1,17	80,6±1,07	0,94	0,62
ЧССисх HRinit	85[74-94]		82[74-91]		0,256	
ЧССмакс HRmax	130[116-154]		108[101-126]		0,001	
ЧССср HRmean	105[96-113]		97[92-105]		0,028	

Примечание: Показатели оксигенации крови приведены с коррекцией по HbCO; Дистанция, % — отношение фактически пройденной дистанции к расчётной (должной) дистанции в %; HbCO — карбоксигемоглобин; SpO₂кorp — оксигенация крови, измеренная транскутанно и скорректированная по HbCO; ΔSpO₂кorp≥4% — % измеренных во время 6-MWT значений SpO₂ (корректированных на уровень HbCO) сниженных на ≥4% от исходного уровня SpO₂ перед 6-MWT; DDR — десатурационно-дистанционное отношение; O₂GAP — потребность в дополнительном потоке кислорода для поддержания SpO₂ на уровне ≥88% при проведении 6-MWT; САД, ДАД — систолическое и диастолическое артериальное давление; ЧССисх, ЧССмакс, ЧССср — исходная, максимальная и средняя частота сердечных сокращений во время 6-MWT; * — вероятность α-ошибки при оценке динамики показателей в контрольной или основной группах в результате 6-MWT (t-тест или тест Вилкоксона); p — вероятность α-ошибки при сравнении показателей в основной и контрольной группах исходно (1) и во время (2) теста 6-MWT (тест Манна-Уитни)
Note: Blood oxygenation indicators are shown with HbCO correction; Distance, % — the ratio of the actual distance traveled to the calculated (due) distance in %; HbCO — carboxyhemoglobin; SpO₂corr — blood oxygenation measured transcutaneously and corrected by HbCO; ΔSpO₂corr≥4% — % of SpO₂ values measured during 6-MWT (corrected for HbCO level) reduced by ≥4% of the initial SpO₂ level before 6-MWT; DDR — desaturation-distance ratio; O₂GAP — the need for additional oxygen flow to maintain SpO₂ at ≥88% during 6-MWT; SBP, DBP — systolic and diastolic blood pressure; Heart rate initial, Heart rate Max, heart rate mean- initial, maximum and average heart rate during 6-MWT; * — probability of a-error in assessing the dynamics of indicators in the control or main groups as a result of 6-MWT (t-test or Wilcoxon test); p — the probability of a-error when comparing indicators in the main and control groups initially (1) and during (2) the 6-MWT test (Mann-Whitney test)

Так, доля нормальных значений оксигенации крови [95-100 %] в основной группе составила всего 51[20-93]% против 100[90-100]% в группе «недесатураторов» (p=0,001). При этом доля сниженных значений (<95%) SpO₂ у «десатураторов» составила 49[7-73]% против 0[0-8]% в контрольной группе (p=0,002). Более продолжительное стационарное лечение, улучшив состояние лёгочной вентиляции, приблизило средний уровень сатурации гемоглобина кислородом у «десатураторов» к нижней границе нормы — уровень SpO₂ составил 94,8±0,45 %. Клинически значимого улучшения спектральных характеристик оксигенации крови у «десатураторов» при этом не произошло.

Распространённость табакокурения и индекс курильщика (показатель пачка/лет) в основной и контрольной группах были идентичными, но у «десатураторов» мы обнаружили более высокую распространённость сочетания БА и ХОБЛ. В частности, у «десатураторов» распространённость табакокурения составила 50 % (n=14) при индексе курильщика 32,8±4,62, а в группе «недесатураторов» — 47 % (n=22) при индексе курильщика 31,2±5,15 (p>0,79). Тем не менее, распространённость сочетания БА и ХОБЛ у «десатураторов» значительно преобладала, составив 32 % (n=9) против 9 % (n=4) у «недесатураторов» (p=0,022).

Таблица 3. Состояние лёгочной вентиляции в выборке больных БА
Table 3. State of pulmonary ventilation in patients with bronchial asthma

Показатели, M±m Parameters, M±m	«Десатураторы»		«Недесатураторы»		P ₁	P ₂
	до лечения before treatment	после лечения after treatment	до лечения before treatment	после лечения after treatment		
ЖЕЛ, % VC, %	64,8±2,98	85,1±5,91*	71,5±2,91	78,3±4,9*	0,112	0,383
ФЖЕЛ, % FVC, %	51,2±2,88	72,4±4,93*	60,9±2,68	79,6±4,45*	0,016	0,287
ОФВ ₁ , % FEV ₁ , %	46,0±2,97	68,6±6,21*	57,0±2,89	76,7±5,38*	0,010	0,329
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ, % FEV ₁ /FVC, %	73,5±2,46	74,7±3,05	78,3±2,64	78,3±2,21	0,183	0,347
Продолжительность госпитализации, дней Duration of hospitalization, days	13,3±0,77		11,4±0,35		0,031	

Примечание: ЖЕЛ — жизненная емкость лёгких; ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость лёгких; ОФВ₁ — объём форсированного выдоха за 1 сек; ОФВ₁/ФЖЕЛ — индекс Генслера; p₁, p₂ — вероятность α-ошибки при сравнении параметров в основной и контрольной группах до- и после лечения соответственно (тест Манна-Уитни); * — достоверная динамика спирометрических показателей под влиянием лечения (тест Вилкоксона)
Note: VC — vital capacity of the lungs; FVC — forced vital capacity of the lungs; FEV₁ — volume of forced exhalation in 1 second; FEV₁/FVC — Gensler index; p₁, p₂ — probability of α-error when comparing parameters in the main and control groups before and after treatment, respectively (Mann-Whitney test); * — reliable dynamics of spirometric parameters under the influence of treatment (Wilcoxon test)

Таблица 4. Сравнительный анализ состояния оксигенации крови под влиянием проведённого стационарного лечения
Table 4. Comparative analysis of the blood oxygenation state under the influence of hospital treatment

Показатели, M±m или Me[Q ₂₅ -Q ₇₅] Parameters, M±m или Me[Q ₂₅ -Q ₇₅]	«Десатураторы»		«Недесатураторы»		P ₁	P ₂
	до лечения before treatment	после лечения after treatment	до лечения before treatment	после лечения after treatment		
HbCO, %	1,4±0,18	1,3±0,15	1,5±0,17	1,4±0,13	0,502	0,602
SpO ₂ min, %	90,4±0,94	91,4±0,58	93,4±0,41	93,9±0,37	0,006	0,001
SpO ₂ max, %	97,2±0,29	96,8±0,33	97,8±0,20	97,8±0,18	0,086	0,010
SpO ₂ mean, %	94,4±0,47	94,8±0,45	96,3±0,25	96,4±0,20	0,001	0,001
SpO ₂ [95-100], %	51[20-93]	55[5-98]	100[90-100]	100[97-100]	0,001	0,001
SpO ₂ <95 %, %	49[7-73]	45[2,5-91]	0[0-8]	0[0-3]	0,002	0,001
ЧССср HR mean	85,4±2,25	82,6±2,58	81,5±1,85	79,4±1,64	0,180	0,297

Примечание: HbCO — карбоксигемоглобин; SpO₂ min, max, mean — минимальное, максимальное и среднее значения SpO₂; SpO₂[95-100], SpO₂<95% — доля измеренных значений SpO₂, относящихся к указанным спектрам оксигенации; ЧССср — средняя частота сердечных сокращений; p₁, p₂ — вероятность α-ошибки при сравнении параметров в основной и контрольной группах до- и после лечения соответственно (тест Манна-Уитни для независимых выборок); динамика оксиметрических показателей и ЧССср после стационарного лечения недостоверна (p>0,05; тест Вилкоксона для связанных выборок)
Note: HbCO — carboxyhemoglobin; SpO₂ min, max, mean — minimum, maximum and average SpO₂ values; SpO₂[95-100], SpO₂<95% — the proportion of measured SpO₂ values related to the specified oxygenation spectra; HR mean — average heart rate; p₁, p₂ — the probability of α-error when comparing parameters in the main and control groups before and after treatment, respectively (Mann-Whitney test for independent samples); dynamics of oximetric parameters and heart rate after inpatient treatment is unreliable (p>0.05; Wilcoxon test)

Обсуждение

Согласно полученным данным, снижение физической работоспособности у 1/3 больных БА сопровождается кислородной десатурацией гемоглобина по кислороду со снижением SpO₂ ниже 90 % во время теста с 6-минутной ходьбой. Оказалось, что десатурация гемоглобина по кислороду при проведении 6-MWT сопровождается увеличением десатурационно-дистанционного отношения и более высокой потребностью в дополнительном потоке кислорода для поддержания SpO₂ на уровне ≥88 %, что характеризует более высокую «кислородную цену» поддержания физической работоспособности на уровне, характерном для «недесатураторов». Кроме того, обсуждаемый феномен был ассоциирован с ухудшением лёгочной вентиляции

и оксигенации крови, а также с увеличением распространённости сочетания БА и ХОБЛ. При этом возросла потребность «десатураторов» в более продолжительной госпитализации для купирования характерного для основной группы более тяжёлого обострения БА.

Заключение

Таким образом, высокая распространённость феномена десатурации гемоглобина по кислороду во время 6-MWT у больных БА и ассоциированные с ним клинико-функциональные нарушения подтверждают целесообразность и клиническую значимость проведения нагрузочного теста с 6-минутной ходьбой не только пациентам с ХОБЛ, но и больным бронхиальной астмой.

Вклад авторов:

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку работы, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией

Гноевых В. В. (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-0557>): разработка концепции и дизайна статьи, написание, редактирование текста и утверждение финального варианта статьи, ответственный за все аспекты работы

Смирнова А. Ю. (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8175-5867>): обсуждение и редактирование текста и утверждение финального варианта статьи

Чернова Н. Г. (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1781-6968>): участие в наборе материала, написание статьи и утверждение финального варианта статьи

Шорохова Ю. А. (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3991-0813>): участие в наборе материала для статьи

Крестьянинов М. В. (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3616-7246>): обсуждение и редактирование текста и утверждение финального варианта статьи

Ефремова Е. В. (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7579-4824>): редактирование текста и утверждение финального варианта статьи;

Галушина И. А. (ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-2790-8780>): редактирование текста и утверждение финального варианта статьи

Author Contribution:

All the authors contributed significantly to the study and the article, read and approved the final version of the article before publication.

Gnoevykh V. V. (ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-0557>): development of the concept and design, writing, editing of the text and approval of the final version of the article, responsible for all aspects of the work

Smirnova A. Yu. (ID ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8175-5867>): writing and editing the text of the article, approval of the final version of the article

Chernova N. G. (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1781-6968>): a set of materials, writing, approval of the final version of the article

Shorokhova Yu. A. (ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3991-0813>): a set of materials, writing, approval of the final version of the article

Krestyaninov M. M. (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3616-7246>): writing and editing the text of the article, approval of the final version of the article

Efremova E. V. (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7579-4824>): editing the text of the article, approval of the final version of the article

Galushina I. A. (ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-2790-8780>): editing the text of the article, approval of the final version of the article

Список литературы/References:

1. Casanova C., Cote C., Marin J. M. et al. Distance and Oxygen Desaturation During the 6-min Walk Test as Predictors of Long-term Mortality in Patients With COPD. *Chest*. 2008; 134(4):746-752. doi: 10.1378/chest.08-0520.
2. Waatevik M., Johannessen A., Gomez Real F. et al. Oxygen desaturation in 6-min walk test is a risk factor for adverse outcomes in COPD. *Eur Respir J*. 2016; 48(1):82-91. doi: 10.1183/13993003.00975-2015.
3. Перегудова Н. Н. Комплексная оценка показателей сатурации и легочной вентиляции при выполнении 6-минутного шагового теста в диагностике функционального статуса пациентов с хронической обструктивной болезнью легких.

Автореферат диссертации на соискание учёной степени к.м.н. по специальности 14.01.04 «Внутренние болезни». Рязань. 2020; 24 с.

Peregudova N. N. Comprehensive assessment of the indices of saturation and pulmonary ventilation during a 6-minute step test in the diagnosis of the functional status of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchjonoj stepeni k.m.n. no special'nosti 14.01.04 «Vnutrennie bolezni»*. Rjazan'. 2020; 24p. [In Russian].

4. Naoki Ijiri, Hiroshi Kanazawa, Takashiro Yoshikawa. Application of a new parameter in the 6-minute walk test for manifold analysis of exercise capacity in patients with COPD. *International journal of COPD*. 2014; (3): 1235-1240. doi: 10.2147/COPD.S71383.
5. Zampogna E, Ambrosino N, Centis R, et al. Minimal clinically important difference of the 6-min walking test in patients with asthma. *Int J Tuberc Lung Dis*. 2021; 25(3): 215-221. doi: 10.5588/ijtld.20.0928. PMID: 33688810.
6. Laboratories, A. T. S. C. o. P. S. f. C. P. F. (2002). ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002; 166(1): 111-117.
7. Клинические рекомендации по бронхиальной астме Российского респираторного общества. 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://spulmo.ru/upload/kr/BA_2021.pdf (дата обращения: 21.03.2024).
8. Josuel Ora, Luigino Calzetta, Gabriella Pezzuto et al. A 6MWT index to predict O2 flow correcting exercise induced SpO2 desaturation in ILD. *Respiratory Medicine*. 2013; 107: 2014-2021. doi: 10.1016/j.rmed.2013.10.002.
9. Гноевых В. В., Шляпин В. А., Шорохова Ю. А. и др. Программа ЭВМ для коррекции по уровню карбоксигемоглобина результатов мониторингирования оксигенации крови при проведении транскутанной двухволновой пульсоксиметрии. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618117; дата государственной регистрации: 17.07.2020 г.
10. Гноевых В. В., Шляпин В. А., Шорохова Ю. А. et al. Computer program for correcting the results of monitoring blood oxygenation by the level of carboxyhemoglobin during transcutaneous two-wave pulse oximetry. Certificate of state registration of the computer program № 2020618117; date of state registration 17.07.2020 [In Russian].
11. Методические рекомендации Российского респираторного общества по спирометрии. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://spulmo.ru/upload/kr/Spirometria_2023.pdf?t=1&ysclid=lu0xdpnhg1792676470 (дата обращения: 21.03.2024).
12. Methodological recommendations of the Russian Respiratory Society on spirometry. 2023. [Electronic resource]. URL: https://spulmo.ru/upload/kr/Spirometria_2023.pdf?t=1&ysclid=lu0xdpnhg1792676470 (date of the application: 21.03.2024) [In Russian].
13. Черняк А. В., Савушкина О. И. Спирометрическое исследование в клинической практике. Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2020; (7): 125-133. doi: 10.36604/1998-5029-2020-77-125-133.
14. Cherniak A. V., Savushkina O. I. Spirometry in clinical practice. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2020; (7): 125-133. doi: 10.36604/1998-5029-2020-77-125-133 [in Russian].