Раздел: ПУЛЬМОНОЛОГИЯ

https://doi.org/10.18499/1990-472X-2025-26-2-100-110

С.И. Глотов, О.М. Урясьев, И.Б. Пономарева, Э.С. Бельских, Л.В.Коршунова

Динамическая электронная аускультация легких в диагностике бронхиальной астмы физического усилия (режим реального времени)

ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России

Посвящается памяти д.м.н., профессора, заслуженного врача РФ Абросимова В.Н.

Резюме. Бронхиальная астма (БА) – гетерогенное заболевание. Одним из неаллергических фенотипов является бронхиальная астма физического усилия (БАФУ), которая может отягощать течение БА, возникает необходимость усиления терапии. Диагностика БАФУ затруднена вследствие недооценки симптомов - свистящие хрипы появляются только при физической нагрузке. Перспективным направлением в диагностике БАФУ является динамическая электронная аускультация свистящих хрипов при проведении бронхопровокационных тестов.

Цель исследования: оценить возможности динамической электронной аускультации в режиме реального времени в диагностики БАФУ у пациентов с установленным диагнозом БА при проведении теста с физической нагрузкой.

Материал и методы. В проспективное, наблюдательное экспериментальное клиническое исследование включены 42 амбулаторных пациента с предполагаемой БАФУ (32 легкой степени и 10 средней степени тяжести БА). Компьютерная спирометрия проводилась спирометром Vitalograph ALPHA (Англия). Динамическая электронная аускультация легких осуществлялось по собственной разработанной методике во время и после физической нагрузки. Полученные аудиофайлы подвергались компьютерному анализу.

Результаты. Регистрация дыхательных шумов при физической нагрузке и после теста была успешно выполнена у всех 42 пациентов. У 11 пациентов были зарегистрированы свистящие хрипы во время физической нагрузки, из них у 7 пациентов хрипы возобновились на 8-14-й минуте восстановительного периода - 9,8 (7,1; 13,2). У 5-х больных динамика аускультативной картины соответствовала бронхобструкции - снижение ОФВ1 на 17 и более %, у 2 пациентах, несмотря на появление сухих хрипов при физической нагрузке, клинически значимой динамики функции внешнего дыхания не отмечалось – снижение ОФВ1 на 0,16±0,04 л (на 3,4±0,25%). У 5 пациентов во время физической нагрузки свистящих хрипов не было, но в восстановительном периоде на 5-8 минуте - 6,3 (5,3; 7,7) мин. Зарегистрированы свистящие хрипы с соответствующим снижение ОФВ1 на 17% и более. БАФУ диагностирована у 12 из 42 пациентов БА (28%).

Отмечалась прямая сильная корреляционная связь между появлением свистящих хрипов и обструктивными изменениями функции внешнего дыхания ($r= 0,76$, $p<0,05$).

Заключение. Динамическая электронная аускультация в режиме реального времени показала себя высокочувствительным методом, позволяющий надежно фиксировать появление свистящих хрипов как во время теста с физической нагрузки, так и в восстановительном периоде у пациентов БА. Данный метод позволяет уточнить временные промежутки возникновения и исчезновения свистящих хрипов, может применяться дистанционно.

Ключевые слова: БА, БАФУ, динамическая электронная аускультация легких, компьютерная спирометрия, тест с физической нагрузкой.

Актуальность. Бронхиальная астма (БА) – гетерогенное заболевание (Глобальная инициатива по астме (Global Initiative for Asthma, GINA 2024), клинические рекомендации по БА МЗ РФ, 2024), у разных категорий больных она протекает различно [1-5].

Существует много клинических проявлений БА – одним из которых является постнагрузочная БА или бронхиальная астма физического усилия (БАФУ) [1, 2, 4, 5]. Впервые данный фенотип БА был предложен профессором Г.Б. Федосеевым (1982). В настоящее время принято считать, что БАФУ влияет на всех пациентов с БА, если они подвергаются физическим нагрузкам достаточной интенсивности. При недиагностированной БАФУ течение БА может переходить в неконтролируемую, и требуется усиление базисной терапии. Ранняя диагностика БАФУ позволяет скорректировать лечение у пациентов с БА [3, 4, 6].

БАФУ представляет собой явление временной обструкции дыхательных путей, обычно возникающей через 5–15 минут после физической нагрузки. Повышенное сопротивление дыхательных путей приводит к снижению объема форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1) или пиковой скорости выдоха на 10% или более [1, 2, 7, 8]. Бронхоспазм, вызванный физической нагрузкой, встречается у 40-90% людей, страдающих БА, и до 20% у здоровых лиц. Распространенность астмы, вызванной физической нагрузкой, среди спортсменов колеблется от 3% до 11% [7, 9-11].

В патогенезе БА важное значение имеет выраженная гиперреактивность бронхов [1, 2, 5, 12]. БАФУ относится к неаллергическому фенотипу и триггером развития симптомов заболевания выступает физическая активность. В настоящее время предложены 2 теории патогенеза БАФУ, но продолжают изучаться. Согласно первой – термальной, в механизме возникновения имеет место вазоконстрикция при физической нагрузке (за счет охлаждения слизистой вдыханием большого количества воздуха), а после физической активности быстрое развитие нагрева и реактивная гиперемия с отеком слизистой бронхов. В основе второй теории лежит предположение о увеличении осмолярности эпителиальной жидкости дыхательных путей вследствие дегидратации, что приводит к выбросу биологически активных веществ, вызывающих бронхоспазм [13].

В ряде случаев диагностика БАФУ затруднена вследствие недооценки симптомов как пациентами, так и врачами из-за того, что, свистящие хрипы появляются только при физической нагрузке [1, 2].

Для диагностики БАФУ используются как прямые (проба с метахолином и гистамином) так и непрямые (проба с физической нагрузкой, тест эукапнического произвольного гиперпноэ, тесты с гиперосмолярными веществами) бронхопровокационные тесты. Каждый из бронхопровокационных тестов имеют достоинства и недостатки [14-18]. Литературные источники показывают, что очень часто при действии провоцирующих факторов свистящие хрипы регистрируются раньше, чем изменения функции внешнего дыхания (ФВД) [11, 13]. В новых клинических рекомендациях по БА (2024) для диагностики БАФУ рекомендован тест с физической нагрузкой для пациентов старше 12 лет (тест считается положительным при снижении ОФВ1 на 10% у взрослых и 12% у детей).

Перспективным направлением в диагностике БАФУ является динамическая электронная аускультация свистящих хрипов при проведении бронхопровокационных

тестов [19-21]. Исследований, посвященных данному вопросу, не так много, а большинство из них проводилось в педиатрической практике. Мониторирование свистящих хрипов во время бронхопровокационного теста с гистамином, проведенное R. Beck (1992) у детей с БА, показало, что свистящие хрипы появились у большинства пациентов до того, как ОФВ1 уменьшился на 20% или более [20]. A. B. Bohadana et al. (1995) осуществляли запись дыхательных шумов у 38 пациентов, выполнявших тест с ингаляцией карбахолина. Свистящие хрипы были обнаружены у 10 лиц с положительным результатом и у 1-го с отрицательным результатом бронхопровокационного теста. Электронная динамическая аускультация свистящих хрипов при ингаляции холиномиметиков в ряде случаев более показательна, чем оценка динамики показателей ФВД [22].

Цель исследования – оценить возможности динамической электронной аускультации в режиме реального времени в диагностики БАФУ у пациентов с установленным диагнозом БА при проведении теста с физической нагрузкой.

Материал и методы исследования. Дизайн исследования – проспективное, наблюдательное экспериментальное клиническое исследование.

Условия проведения - исследование выполнено на базе Областной клинической больницы г. Рязани; Областной клинической больницы имени Н.А. Семашко г. Рязань; Рязанского областного клинического госпиталя для ветеранов войн; Рязанского государственного медицинского университета имени академика И. П. Павлова.

Продолжительность исследования. Период проведения исследования: набор пациентов осуществлялся с мая 2017 года по март 2024 года.

Все пациенты оценены на предмет соответствия критериям включения и невключения.

Критерии включения: диагностированная БА с продолжительностью течения заболевания 5 и более лет; получение информированного добровольного согласия участия в исследовании; возраст старше 18 лет.

Критерии невключения: пациенты с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ), пациенты БА в сочетании с ХОБЛ, обострение БА, тяжелая степень дыхательной недостаточности; пациенты с другими заболеваниями органов дыхания (пневмония, рак легкого, тромбоэмболия легочной артерии, интерстициальные заболевания легких); внелегочными причинами одышки (декомпенсация сердечной недостаточности, анемический синдром, нервно-мышечные и психические заболевания, заболевания центральной нервной системы, ожирение с индексом массы тела > 35 кг/м^2, тяжелая артериальная гипертензия, обострение ишемической болезни сердца, диабетический кетоацидоз, онкология); заболевания опорно-двигательного аппарата, делающих невозможным выполнения теста с физической нагрузкой).

Критерии исключения: отказ от исследования; развитие нежелательных реакций на обследование; обострение хронических заболеваний пациента, требующее прерывания исследования.

Описание вмешательства. Добровольное участие в исследовании приняли 42 амбулаторных пациента с предполагаемой БАФУ (28 женщин, 14 мужчин) с установленным диагнозом БА (36 – контролируемой и 6 - частично контролируемой (32 легкой степени и 10 средней степени тяжести БА).

Медиана возраста составила 36 (28; 45) лет, продолжительность заболевания составила 8,7 (6,3; 9,4) года. Степень контроля определялась в соответствии с рекомендациями Глобальной инициативы по астме (Global Initiative for Asthma, GINA 2024) [1]. Пациенты получали лечение в зависимости от степени тяжести и контроля БА в соответствии GINA (2024) [1].

Методы регистрации исходов. Клиническое обследование пациентов включало: сбор и оценку жалоб, анамнез заболевания, первичный физикальный осмотр, компьютерную спирометрию, динамическая электронная аускультация легких во время и после физической нагрузки в режиме реального времени с получением записи дыхательный шумов. Степень интенсивности хрипов, одышки и кашля оценивалась с помощью шкалы Борга [23].

Компьютерная спирометрия проводилась спирометром Vitalograph ALPHA (Англия) по правилам ATS/ERS (2019) [24].

Была разработана собственная система динамической электронной аускультации легких во время и после физической нагрузки. Техническая система включала: акустический датчик (электретные микрофоны располагались в головке стетоскопа) - регистрация дыхательных шумов; электронно-акустический интерфейс (усилитель легочных звуков, фильтр звуков – подавление низкочастотных сердечных тонов, преобразование исходного акустического сигнала легочных звуков в цифровой сигнал) с радиопередающим устройством, которые размещались на теле пациента; радиоприемник, персональный компьютер (визуальное наблюдение, записывающее устройство), наушники (аудионаблюдение) в распоряжении исследователя.

Акустический датчик с электронно-акустическим интерфейсом и радиопередатчиком помещались на грудную клетку пациента. В исследовании использовался фиксатор для головки стетоскопа (акустического датчика), устанавливаемый на теле пациента, что обеспечивало качественное сохранение полезного акустического сигнала [25]. Оригинальностью методики исследование является использование радиопередающего и принимающего устройства, позволяющее проводить обследование пациентов дистанционно.

Во время физической нагрузки (бег в течение 8 минут по лестнице с максимально переносимой для пациента скоростью) и в течение 15 минут восстановительного периода проводилось наблюдение и запись дыхательных шумов в режиме реального времени с оценкой спирографических данных до и после физической нагрузки [11]. Полученные аудиофайлы обработаны компьютерными программы Spectrogram 5.0 и Adobe Audition 10.0 с применением спектрального анализа Фурье (свистящие хрипы характеризуются как пики в спектре Фурье и как видимая глазом гармоническая компонента на спектрограмме).

При ухудшении самочувствия пациенты делали остановку и возобновляли физическую нагрузку после улучшения. При возникновении стенокардитических болей, приступов удушья, повышение артериального давления, нарушений ритма и других противопоказаний, физическая нагрузка прекращалась.

Все процедуры с участием пациентов в этом исследовании проводили в соответствии с этическими стандартами институционального исследовательского комитета, а также Хельсинкской декларацией 1964 года и ее более поздними поправками. Согласие на протокол и программа клинического исследования утверждены локальным этическим комитетом Рязанского государственного медицинского университета (протокол № 10 от 10.05.2017 года). Все пациенты оформляли и подписывали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью стандартных статистических пакетов анализа данных. Нормальность распределения данных проверялась с помощью критерия Шапиро-Уилка. При отклонении от нормального распределения данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха (Me [Q1-Q3]. Данные, полученные в ходе исследования, были подвергнуты корреляционному анализу с использованием параметрических коэффициентов Пирсона или непараметрических коэффициентов Спирмена. Уровень статистической значимости - $p<0,05$.

Полученные результаты и их обсуждение. Перед тестом с физической нагрузкой все испытуемые чувствовали себя удовлетворительно, кашля и одышки не отмечали. Во время физической нагрузки у всех пациентов отмечена одышка – 3,3 (2,6; 3,4) балла, у 18 пациентов (43%) сухой или продуктивный кашель - 2,5 (2,1; 2,9) балла, у 16 больных (38%) отмечались свистящие хрипы - 3,7 (3,1; 4,2) балла по шкале Борга. Основные жалобы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Структура жалоб пациентов с предполагаемым диагнозом БАФУ во время теста с физической нагрузкой (n=42)

Показатель	Количество	Интенсивность, балл
одышка после физической нагрузки	42	3,3 (2,6; 3,4)
кашель:	18	2,5 (2,1; 2,9)
сухой кашель	14	
продуктивный кашель	4	
заложенность в грудной клетке	17	2,9 (2,7; 3,4)
свистящее дыхание (хрипы)	11	3,7 (3,1; 4,2)

Спирографические показатели пациентов с предполагаемым диагнозом БАФУ представлены в таблице 2.

Спирографические показатели пациентов до начала теста с физической нагрузкой были либо в пределах должностных значений или отмечались легкие нарушения ФВД по обструктивному типу. Динамика спирографических показателей изменялась разнообразно. Отмечено достоверное снижение ОФВ1 ($p<0,05$),

ОФВ1/ФЖЕЛ (p<0,05) после окончания теста. У части пациентов восстановление ОФВ1 в конце восстановительного периода не произошло (p<0,05).

Регистрация дыхательных шумов при физической нагрузке и после теста была успешно выполнена у всех 42 пациентов. Качество записей было удовлетворительным, однако звуковые помехи (трение одежды, стук обуви) присутствовали во всех аудиофайлах.

Таблица 2 – спирографические показатели пациентов с предполагаемым диагнозом БАФУ (n=42)

Показатели	Перед началом теста		После окончания теста (после 8 минут физической нагрузки)		p
	абс.	% от должного	абс.	% от должного	
ОФВ1, л	2,55 (2,31-2,64)	78,5 (72,7-80,3)	2,07 (1,94-2,12)	66,3 (60,1-68,9)	0,043
ФЖЕЛ, л	3,51 (3,4-3,67)	85,1 (79,2-87,3)	3,43 (3,27-3,58)	82,1 (76,3-84,1)	0,052
ОФВ1/ФЖЕЛ, %	74,7 (72,1-76,8)	88,2 (84,1-91,1)	62,4 (59,4-64,8)	77,4 (72,5-79,3)	0,048
В конце восстановительного периода (через 15 минут)					p
Показатели	абс.		% от должного		
ОФВ1, л	2,25 (2,15-2,4)		70,32 (65,4—72,1)		0,048
ФЖЕЛ, л	3,64 (3,58-3,71)		87,19 (81,2-89,3)		0,056
ОФВ1/ФЖЕЛ	72,4 (69,8-74,3)		85,3 (82,7-88,2)		0,053

Примечание: p - достоверность различий средних по t-критерию Стьюдента, ОФВ1 – объем форсированного выдоха за первую секунду, ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость.

В ходе исследования у 16 человек из 42 обследованных были зарегистрированы свистящие хрипы (таблица 3).

Таблица 3 - наличие свистящих хрипов и нарушения функции внешнего дыхания при выполнении теста с физической нагрузкой (n=16)

№	Свистящие хрипы		Снижение ОФВ1	
	Во время нагрузки	В восстановительном периоде	Сразу после нагрузки	В восстановительном периоде
1	отсутствуют	зарегистрированы	нет	да
2	отсутствуют	зарегистрированы	нет	да
3	зарегистриро-ваны	отсутствуют	нет	нет
4	зарегистриро-ваны	зарегистрированы	нет	нет
5	зарегистриро-ваны	отсутствуют	нет	нет
6	зарегистриро-ваны	зарегистрированы	нет	да
7	отсутствуют	зарегистрированы	нет	да
8	зарегистриро-ваны	отстутствуют	нет	нет
9	зарегистриро-ваны	зарегистрированы	нет	да
10	зарегистриро-ваны	зарегистрированы	нет	нет
11	зарегистриро-ваны	отсутствуют	нет	нет
12	зарегистриро-ваны	зарегистрированы	нет	да
13	зарегистриро-ваны	зарегистрированы	нет	да
14	отсутствуют	зарегистрированы	нет	да
15	зарегистриро-ваны	зарегистрированы	нет	да
16	отсутствуют	зарегистрированы	нет	да

У всех 42 пациентов с установленным диагнозом БА наблюдались следующие изменения акустического паттерна: увеличение амплитуды дыхательных шумов и частоты дыхательных циклов, укорочение дыхательных циклов.

У 11 пациентов были зарегистрированы свистящие хрипы во время физической нагрузки, из них у 7 пациентов хрипы возобновились на 8-14-й минуте восстановительного периода - 9,8 (7,1; 13,2) мин. У 5-х больных динамика аускультативной картины соответствовала изменениям спирографических данных - снижение ОФВ1 на 17 и более %, у 2 пациентах, несмотря на появление сухих хрипов при физической нагрузке, клинически значимой динамики функции внешнего дыхания не отмечалось – снижение ОФВ1 на 0,16±0,04 л (на 3,4±0,25%).

У 5 пациентов во время физической нагрузки свистящих хрипов не было, но в восстановительном периоде на 5-8 минуте - 6,3 (5,3; 7,7) мин. Зарегистрированы свистящие хрипы с соответствующим снижение ОФВ1 на 17% и более.

Отмечалась прямая сильная корреляционная связь между появлением свистящих хрипов и обструктивными изменениями функции внешнего дыхания ($r= 0,76$, $p<0,05$).

Клинический случай. Пациентка Л., 39 лет, диагноз: «Бронхиальная астма, смешанная форма, средней степени тяжести, контролируемая». САТ – 25 баллов.

Обращали на себя жалобы на одышку при физической нагрузке (быстрая ходьба, бег), сопровождающиеся дистанционными свистящими хрипами.

Страдает БА с 30 лет, базисная терапия формотерол/бекламетазон 220/6 мкг по 2 ингаляции 2 раза в сутки. В настоящее время ухудшения самочувствия не отмечает, одышка только при физической нагрузке.

В таблице 4 представлены показатели ФВД исходные и после теста с физической нагрузкой.

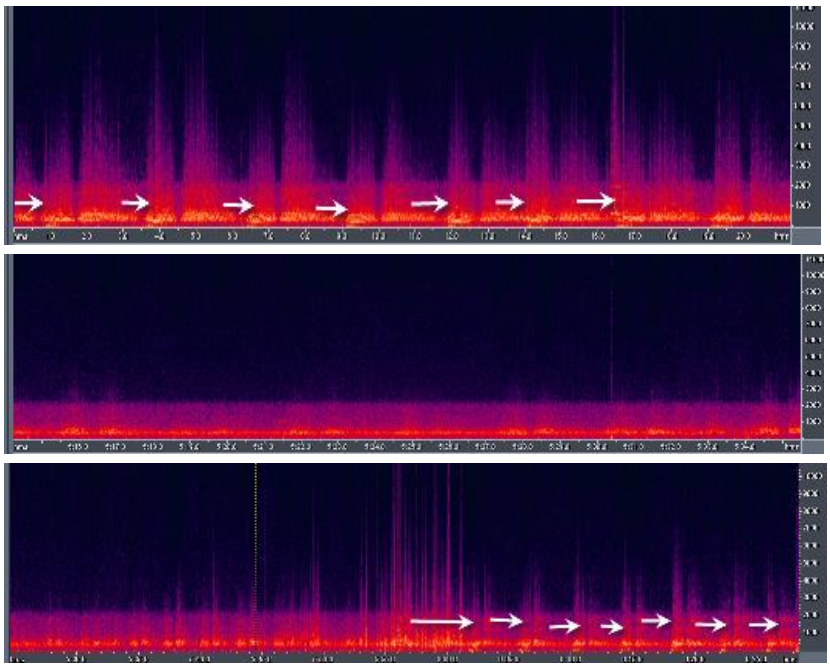
Динамика спирографических показателей при физической нагрузке: отмечается снижение ОФВ1 на 10% от должного (12,5% от исходного) сразу после нагрузки и на 25% от должного (31% от исходного) через 7 минут после окончания бега.

Таблица 4 – исходные и после теста с физической нагрузкой показатели функции внешнего дыхания пациентки Л., 39 лет

Срок наблюдения	ФЖЕЛ	ОФВ1/ФЖЕЛ	ОФВ1
Фактический до нагрузки	1,8	69	1,6
Должный	2,4	76	2
% от должного	75	91	80
Фактический сразу после нагрузки	1,6	-	1,4
% снижения от исходного	11,1	-	12,5
% снижения от должного	8,3	-	10
Фактический через 3 мин. после нагрузки	1,8	66	1,2
% от исходного	100	95	75
% от должного	75	87	60

Фактический через 7 мин. после нагрузки	1,7	-	1,1
% снижения от исходного	6	-	31
% снижения от должного	1	-	25

На рис.1. представлены фоноспектрограммы пациентки Л.



а. окончание физической нагрузки: стрелками указаны сухие хрипы

б. через пять минут после окончания физической нагрузки: хрипов нет

в. на седьмой минуте после окончания физической нагрузки: появление хрипов (указаны стрелками)

Рис. 1. Фоноспектрограммы пациентки Л, 39 лет:

Исходя из полученных данных до и после теста с физической нагрузкой у пациентки Л. выявлена БАФУ, свистящие хрипы появляются на 7 минуте после окончания физической нагрузки (что согласуется с бронхобструктивными изменениями спирографических показателей).

В проведенном исследовании БАФУ диагностирована у 12 из 42 пациентов БА (28%). По данным статистики БАФУ встречается в 40-90% случаев у пациентов БА, но такие данные были получены в связи с тем, что в исследовании принимали участие амбулаторные больные легкой и средней степени тяжести БА.

У 10 пациентов были выявлены свистящие хрипы и нарушения ФВД по обструктивному типу, у 2-х пациентов регистрировались сухие хрипы без изменений ФВД (снижения ОФВ1). В исследовании свистящие хрипы фиксировались чаще, чем снижения ОФВ1. В литературе чаще описаны случаи раннего снижения ОФВ1 с последующим появлением свистящих хрипов. D.P. Spence анализировал динамику дыхательных шумов во время теста с метахолином, им не было обнаружено патологических дыхательных шумов у 3 из 8 детей с БА, несмотря на снижение ОФВ1 более 40 % [21].

Ограничения исследования. Изучалась относительно небольшая выборка пациентов с БА, и необходимы дальнейшие исследования с участием большего числа субъектов. По данным проведенного исследования чаще встречалась форма БАФУ, при которой симптомы бронхиальной обструкции развиваются во время физической

нагрузки, реже БАФУ, при которой симптомы бронхиальной обструкции и появление свистящих хрипов развиваются через несколько минут после окончания бронхопровокационного теста с нагрузкой. Данное исследование не ставило целью выявления частоты встречаемости форм, а ставило задачу оценки возможностей динамической аускультации в режиме реального времени.

Интересным представляется изучение БАФУ у спортсменов. По литературным данным, БАФУ наблюдающаяся у ведущих спортсменов по различным видам спорта, является причиной смерти [6, 9-11, 26-27].

Техническая система для динамической электронной аукультации легочных звуков достаточна сложна, требуются инновационные решения для ее упрощения.

Возможно привлечение искусственного интеллекта для анализа записываемых легочных звуков и заключения о наличии БАФУ.

Выводы. Динамическая электронная аускультация в режиме реального времени показала себя высокочувствительным методом, позволяющий надежно фиксировать появление свистящих хрипов как во время теста с физической нагрузки, так и в восстановительном периоде у пациентов БА. Данный метод позволяет уточнить временные промежутки возникновения и исчезновения свистящих хрипов, может применяться дистанционно. Отмечена прямая сильная корреляционная связь между появлением свистящих хрипов и обструктивными изменениями ФВД. Динамическую электронную аускультацию в режиме реального времени следует активно применять в диагностике БАФУ, что позволит проводить коррекцию терапии данной группы пациентов, согласно новых клинических рекомендаций.

Литература / References.

1. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. 2024. Available at: https://ginasthma.org/ wp-content/uploads/2024/05/GINA-2024-Strategy-Report-24_05_22_ WMS.pdf [Accessed: October 26, 2024].

2. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Клинические рекомендации. Бронхиальная астма. 2024. Доступно на: https://diseases.medelement.com/disease/бронхиальная-астма-кп-рф-2024/18317 [Дата обращения:26.04.25]

3. Трибунцева Л.В., Авдеев С.Н., Будневский А.В., Прозорова Г.Г., Кожевникова С.А. Сочетанное влияние мультиморбидности и повышенного индекса массы тела на контроль бронхиальной астмы и качество жизни пациентов. Российский медико-биологический вестник имени академика И.П.Павлова. 2023; 31 (1): 37–48. DOI: 10.17816/ PAVLOVJ111895.

4. Сергеева ГР, Емельянов АВ. Фенотипы и эндотипы тяжелой бронхиальной астмы. Медицинский совет.2024;18(20):52–59. DOI:10.21518/ms2024-461.

5. Бяловский Ю.Ю., Глотов С.И., Ракитина И.С., Ермачкова А.Н. Патогенетические аспекты фенотипирования бронхиальной астмы. Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2024; 32 (1): 145-158. DOI: 10.17816/PAVLOVJ181606.

6. Bajer WA, M Majewska-Pulsakowska, Paprocka-Borowicz M, Wytrychowski K, Taradaj J, Ptaszkowski K. Assessment of Exercise Capacity in Patients Diagnosed with Moderate and Severe Bronchial Asthma: Preliminary Prospective Observational Study. J Asthma Allergy. 2024; 3:17:1247-1258. DOI: 10.2147/JAA.S458717.

7. Wilkerson L. A. Exercise-induced asthma. J Am Osteopath Assoc. 1998; 98(4):211-5. PMID: 9594485.

8. Ameri S, Stang J, Walsted E, Price OJ. Mechanisms and Biomarkers of Exercise-induced Bronchoconstriction: Current Insights and Future Directions. Immunol Allergy Clin North Am. 2025 Feb;45(1):63-75. DOI: 10.1016/j.iac.2024.08.009.

9.Dreßler M, Friedrich T, Lasowski N, Herrmann E, Zielen S, Schulze J. Predictors and reproducibility of exercise-induced bronchoconstriction in cold air. BMC Pulm

Med. 2019;19(1):94. DOI: 10.1186/s12890-019-0845-3.

10. Gerow M, Bruner PJ. Exercise-Induced Bronchoconstriction. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.PMID: 32491486.Bookshelf ID: NBK557554. PMID: 32491486.

11. Parsons JP, Hallstrand TS, Mastronarde JG, Kaminsky DA, Rundell KW, Hull JH. et al. An official American Thoracic Society clinical practice guideline: exercise-induced bronchoconstriction. Am J Respir Crit Care Med. 2013;187(9):1016-27. DOI: 10.1164/rccm.201303-0437ST

12. Aggarwal B, Mulgirigama A, Berend N. Exercise-induced bronchoconstriction: prevalence, pathophysiology, patient impact, diagnosis and management. NPJ Prim Care Respir Med. 2018;28(1):31. DOI: 10.1038/s41533-018-0098-2.

13. Anderson SD, Kippelen P. Stimulus and mechanisms of exercise-induced bronchoconstriction. Breathe. 2010; 7(1):25-33. DOI:10.1183/18106838.0701.025

14. Leuppi JD. Bronchoprovocation tests in asthma: direct versus indirect challenges. Curr Opin Pulm Med. 2014;20(1):31-6. DOI: 10.1097/MCP.0000000000000009.

15. Sayeedi I, Widrich J. Methacholine Challenge Test.In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. PMID: 31613496

16.Anderson S.D. Provocative challenges to help diagnose and monitor asthma: exercise, methacholine, adenosine, and mannitol. Curr Opin Pulm Med. 2008;14(1):39-45. DOI: 10.1097/MCP.0b013e3282f197f6.

17. Anderson S.D. Indirect challenge tests: Airway hyperresponsiveness in asthma: its measurement and clinical significance Chest. 2010;138(2 Suppl):25S-30S. DOI: 10.1378/chest.10-0116.

18. Brannan JD, Anderson SD, Perry CP, Freed-Martens R, Lassig AR, Charlton B et.al. The safety and efficacy of inhaled dry powder mannitol as a bronchial provocation test for airway hyperresponsiveness: a phase 3 comparison study with hypertonic (4.5%) saline. Respir Res. 2005;6(1):144. DOI: 10.1186/1465-9921-6-144.

19. Sanchez I, Avital A, Wong I, Tal A, Pasterkamp H. Acoustic vs. spirometric assessment of bronchial responsiveness to methacholine in children. Pediatr Pulmonol. 1993;15(1):28-35. DOI: 10.1002/ppul.1950150105.

20. Beck R, Dickson U, Montgomery MD, Mitchell I. Histamine challenge in young children using computerized lung sounds analysis. Chest. 1992;102(3):759-63. DOI: 10.1378/chest.102.3.759.

21.Spence DP, Graham DR, Jamieson G, Cheetham BM, Calverley PM, Earis JE. The relationship between wheezing and lung mechanics during methacholine-induced bronchoconstriction in asthmatic subjects. Am J Respir Crit Care Med. 1996;154(2 Pt 1):290-4. DOI: 10.1164/ajrccm.154.2.8756796.

22. Bohadana AB, Peslin R, Uffholtz H, Pauli G. Potential for lung sound monitoring during bronchial provocation testing. Thorax. 1995;50(9):955-61. DOI: 10.1136/thx.50.9.955.

23.Borg G. Simple rating methods for estimation of perceived exertion. Wenner-Gren Center International Symposium Series. 1976; 28: 39-47.

24. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL. et al. Standardization of Spirometry 2019 Update An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. Am J Respir Crit Care Med. 2019;200(8):e70-e88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST.

25. Патент № 64495 РФ, МПК A61B 7/02(2006.01), A61B 5/02(2006.01). Фиксатор датчика и каркас для его осуществления: 2006146838/22: заявл. 2006.12.28 : опубл. : 2007.07.10 / Кузнецов В.И., Абросимов В.Н., Лабутин Г.И.; Патентообладатели: Общество с ограниченной ответственностью "УНИКУМ" (RU).

26. Becker JM, Rogers J, Rossini G, Mirchandani H, D'Alonzo Jr GE. Asthma deaths during sports: report of a 7-year experience. J Allergy Clin Immunol. 2004;113(2):264-7. doi: 10.1016/j.jaci.2003.10.052.

27. DiDario AG, Becker JM. Asthma, sports, and death. Allergy Asthma Proc. 2005;26(5):341-4. PMID: 16450566

Abstract.

S.I. Glotov, O.M. Uryasev, I.B. Ponomareva, E.S.Belskikh, L.V.Korshunova

Dynamic electronic auscultation of the lungs
in the diagnosis of exercise-induced bronchial asthma (real-time mode)

Ryazan State Medical University

Asthma is a heterogeneous disease. One of the non-allergic phenotypes is exercise-induced asthma, which can aggravate the course of asthma, requiring enhanced therapy. Diagnosis of exercise-induced asthma is difficult due to underestimation of symptoms - wheezing appears only during physical exertion. A promising direction in the diagnostics of exercise-induced asthma is dynamic electronic auscultation of

wheezing during bronchoprovocation tests.

Objective of the study: to evaluate the capabilities of dynamic electronic auscultation in real time in the diagnosis of exercise-induced asthma in patients with an established diagnosis of asthma during a test with physical exertion.

Material and methods. The prospective, observational experimental clinical study included 42 outpatients with suspected exercise-induced asthma (32 mild and 10 moderate BA). Computer spirometry was performed using a Vitalograph ALPHA spirometer (England). Dynamic electronic auscultation of the lungs was performed using our own developed technique during and after physical activity. The resulting audio files were subjected to computer analysis.

Results. Registration of respiratory sounds during physical activity and after the test was successfully performed in all 42 patients. Wheezing rales were recorded during physical activity in 11 patients, of which wheezing resumed in 7 patients at 8-14 minutes of the recovery period - 9,8 (7,1; 13,2) min. In 5 patients, the dynamics of the auscultatory picture corresponded to bronchoobstruction - a decrease in FEV1 by 17% or more, in 2 patients, despite the appearance of dry wheezing during physical exertion, clinically significant dynamics of external respiration function were not noted - a decrease in FEV1 by 0.16 ± 0.04 l (by 3.4 ± 0.25%). In 5 patients, there were no wheezing during physical exertion, but in the recovery period at 5-8 minutes - 6,3 (5,3; 7,7) min. Wheezing with a corresponding decrease in FEV1 by 17% or more was recorded. Exercise-induced asthma was diagnosed in 12 of 42 asthma patients (28%). A direct strong correlation was observed between the occurrence of wheezing and obstructive changes in the function of external respiration ($r= 0.76$, $p<0.05$).

Conclusion. Dynamic electronic auscultation in real time has proven to be a highly sensitive method that allows reliable recording of the occurrence of wheezing both during the exercise test and in the recovery period in patients with bronchial asthma. This method allows specifying the time intervals of occurrence and disappearance of wheezing and can be used remotely.

Keywords: asthma, exercise-induced asthma, dynamic electronic auscultation of the lungs, computer spirometry, exercise test

Сведения об авторах: Глотов Сергей Иванович – к.м.н., доцент, доцент кафедры факультетской терапии имени проф. В.Я. Гармаша ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, E-mail: sergeyglot@mail.ru; Урясьев Олег Михайлович – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой факультетской терапии имени проф. В.Я. Гармаша ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, E-mail: uryasev08@yandex.ru; Пономарева Ирина Борисовна - к.м.н., доцент, доцент кафедры факультетской терапии имени проф. В.Я. Гармаша ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, docib@yandex.ru; Бельских Эдуард Сергеевич – к.м.н., доцент, доцент кафедры факультетской терапии имени проф. В.Я. Гармаша ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, E-mail: ed.bels@yandex.ru; Коршунова Людмила Владимировна - к.м.н., доцент, доцент кафедры факультетской терапии имени проф. В.Я. Гармаша ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, E-mail: post_luda@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; одобрена рецензентами и принята к публикации 15.03.2025.