

Тренировка инспираторных мышц у больных обструктивными заболеваниями легких

А.В. Черняк

У больных обструктивными заболеваниями легких (прежде всего хронической обструктивной болезнью легких – ХОБЛ) ограничение экспираторного потока приводит к замедлению опустошения альвеол при выдохе. При физической нагрузке нарушения механики дыхания еще больше усугубляются: задержка воздуха в альвеолах усиливается, приводя к увеличению объема легких (динамической гиперинфляции легких). На поздних стадиях заболевания в результате необратимых нарушений структуры легких (формирование булл, снижение эластичности легочной ткани и уменьшение сил, растягивающих бронхи) развивается статическая гиперинфляция легких. Это приводит к необходимости дышать при более высоких легочных объемах; возрастает работа дыхания для преодоления эластических сил и увеличивается потребность инспираторных мышц в кислороде [1].

Негативное воздействие гиперинфляции легких на инспираторные мышцы обусловлено следующими факторами. Уплотнение диафрагмы перемещает инспираторные мышцы в более невыгодную область кривой длина–напряжение (рис. 1а), вызывая их функциональную слабость [2]. Увеличение скорости сокращения инспираторных мышц в результате ускорения вдоха (вынужденная мера, связанная с увеличением времени выдоха) перемещает инспираторные мышцы в более невыгодную область кривой сила–скорость (рис. 1б) [2]. Поскольку выдох заканчивается до достижения объема легких, при котором система легкие–грудная клетка приходит в состояние равновесия, возникает внутреннее положительное конечно-экспираторное давление (РЕЕР_v, рис. 2), поэтому для начала вдоха мышцы должны преодолеть дополнительную нагрузку [3].

Кроме того, вентиляционные потребности увеличивают физическая детренированность, неэффективный паттерн дыхания, увеличение вентиляции мертвого пространства, нарушения газового обмена и раннее достижение анаэробного порога, а также системные проявления ХОБЛ (нарушения структуры и функции скелетных мышц, снижение окислительной ферментативной активности в мышцах) [4, 5]. Всё это создает дисбаланс между потребностями

инспираторных мышц и возможностями их обеспечить, приводя к ощущению усилия при дыхании (одышке), ограничению физической работоспособности и снижению качества жизни.

Тренировка инспираторных мышц (ТИМ) может увеличить силу и выносливость инспираторных мышц, а также восстановить баланс между моторным сигналом к мышцам и механическим ответом мышц на него.

Тренажеры инспираторных мышц

Для проведения ТИМ необходимо использовать специальные устройства, создающие нагрузку во время вдоха –

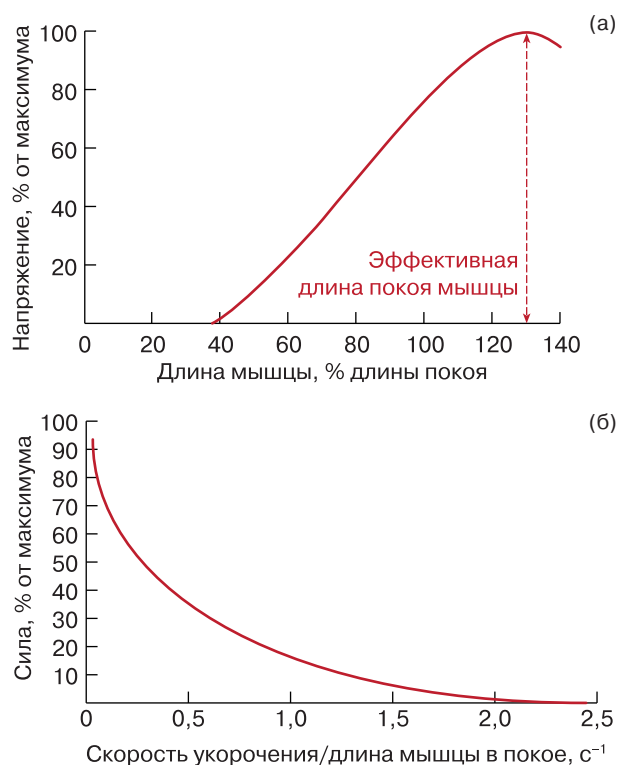


Рис. 1. Негативное воздействие гиперинфляции легких на инспираторные мышцы. а – кривая длина–напряжение. Гиперинфляция легких приводит к уплотнению диафрагмы, в результате укорочения мышц происходит сдвиг на кривой длина–напряжение влево, сила снижается. б – кривая скорость–сила. Увеличение скорости укорочения мышц в результате ускорения вдоха приводит к сдвигу на кривой сила–скорость вправо, сила снижается.

Александр Владимирович Черняк – канд. мед. наук, зав. лабораторией функциональной диагностики НИИ пульмонологии ФМБА.

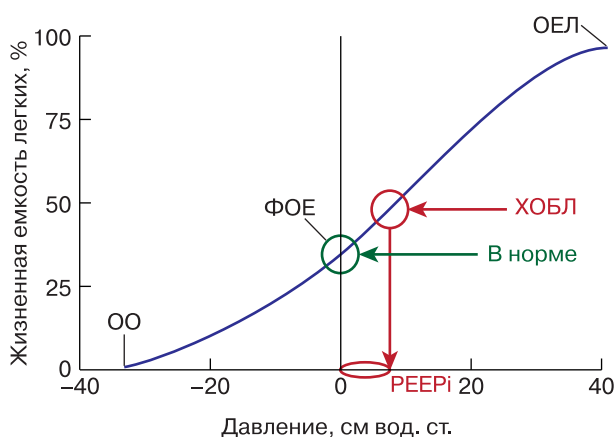


Рис. 2. Кривая давление–объем: схема возникновения РЕЕР_i. У больных ХОБЛ спокойный выдох заканчивается до достижения объема легких, при котором система легкие–грудная клетка находится в равновесии (ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких). Результатом этого является возникновение РЕЕР_i, которое дыхательные мышцы должны преодолеть для начала вдоха. ОО – остаточный объем; ОЕЛ – общая емкость легких.

тренажеры инспираторных мышц, причем результаты тренировок существенно зависят от типа используемого устройства. Существует несколько **типов тренажеров**, применяемых у пациентов с обструктивными заболеваниями органов дыхания [6]:

- с нерегулируемым инспираторным сопротивлением;
- с регулируемым инспираторным сопротивлением;
- с пороговой нагрузкой;
- с применением нормокапнической гипервентиляции.

Тренажеры с нерегулируемым инспираторным сопротивлением (рис. 3) не позволяют дозировать нагрузку или регулировать паттерн дыхания пациента. Без каждой из этих характеристик невозможно обеспечить достаточ-



Рис. 3. Тренажер с нерегулируемым инспираторным сопротивлением.

ную интенсивность тренировки, поэтому эти устройства не получили широкого распространения.

Тренажеры с регулируемым инспираторным сопротивлением позволяют задать необходимый уровень нагрузки, которую пациент должен преодолевать при дыхании. Ограничением этих тренажеров является то, что инспираторное давление и, следовательно, тренирующая нагрузка изменяются в зависимости от потока, а не только от диаметра отверстия. Необходимая интенсивность тренировки может сохраняться только при условии стабильности паттерна дыхания, который надо регистрировать во время тренировки. Тренажеры данного типа обеспечивают визуальный контроль паттерна дыхания с помощью специального устройства, регулирующего сопротивление и соединенного с мундштуком. Самым простым и наиболее распространенным тренажером такого типа является побудительный спирометр Coach-2 (рис. 4). С его помощью пациент управляет интенсивностью инспираторного давления – если он достигает целевого потока, то достигает и необходимой нагрузки при тренировке.

Тренажеры с пороговой нагрузкой контролируют интенсивность инспираторного давления различными способами: с помощью плунжера, соленоидного клапана, системы с постоянным отрицательным давлением или пружинного клапана. Было показано, что пороговая нагрузка оказывает положительное воздействие на силу, максимальную скорость сокращения, максимальную мощность и выносливость инспираторных мышц. Тренировка с использованием таких тренажеров может эффективно проводиться без регулирования паттерна дыхания, так как не зависит от потока. Кроме того, тренировка с использованием устройства с пружинным механическим клапаном удобна и может применяться не только в стационаре: доказана его эффективность в домашних условиях и при длительном использовании. В России доступны тренажеры Threshold IMT и Power breathe (рис. 5). Тренажеры состоят из мундштука и граду-



Рис. 4. Тренажер с регулируемым инспираторным сопротивлением Coach-2 (Intersurgical, Великобритания).



Рис. 5. Тренажеры с пороговой нагрузкой, имеющие механический клапан-“тарелку”: 1 – Power breathe (Gaia Ltd., Великобритания); 2 – Threshold IMT (Respironics, США).

ированного пружинного клапана. Клапан задает нагрузку с постоянным инспираторным давлением, которое пациент должен преодолеть, чтобы открыть клапан и сделать вдох. Клапан проградуирован, и пороговая нагрузка может меняться в зависимости от **максимального инспираторного давления** ($P_{I_{max}}$) пациента. Выдох происходит беспрепятственно через экспираторный подвижный клапан.

Тренажер с применением нормокапнической гипервентиляции обеспечивает визуальный контроль и является закрытой системой с возможностью добавления кислорода для поддержания постоянного уровня CO_2 и O_2 в артериальной крови. Интенсивность тренировки устанавливается в процентах от уровня максимальной вентиляции легких. Подобное устройство может быть достаточно тяжелым, требует большего количества оборудования по сравнению с упомянутыми выше тренажерами и в основном используется в исследованиях.

В настоящее время ТИМ с помощью тренажеров с пороговой нагрузкой, имеющих механический клапан-“тарелку”, является наиболее широко применяемым методом вследствие простоты, надежности и удобства конструкции тренажеров. Эти тренажеры также используются в исследованиях, потому что относительно легко могут создавать плацебо-нагрузку на определяемом, но неэффективном уровне.

Принципы ТИМ

В основе тренировки инспираторных мышц лежат такие же принципы, как и при тренировке других скелетных мышц: нагрузка, специфичность и обратимость [7].

Нагрузка

Чтобы тренировка мышечных волокон была эффективной, следует проводить ТИМ при определенном уровне нагрузки: чем выше нагрузка относительно силы инспираторных мышц пациента, тем больше увеличивается сила мышц при тренировке. Имеющиеся данные позволяют

считать, что тренирующая нагрузка должна быть $>30\%$ от $P_{I_{max}}$ [8]. Неэффективность тренировки с меньшей нагрузкой подтверждается Preusser et al.: у пациентов не произошло достоверного улучшения $P_{I_{max}}$ после 12 нед тренировок с нагрузкой, эквивалентной 22% от $P_{I_{max}}$ [9].

В большинстве работ продолжительность ТИМ составляла 2–3 мес, но структурная адаптация наступала в течение первых 6 нед [10]. В одном из самых длительных исследований было показано, что наибольшее увеличение $P_{I_{max}}$ происходит в течение первых 3 мес (на 32%), а затем этот прирост уменьшается: около 6% в течение четырех следующих 3-месячных периодов [11]. В других работах фазу плато в улучшении $P_{I_{max}}$ наблюдали уже после 1 мес тренировки [12, 13]. Существование фазы плато подтверждается и результатами тренировок здоровых людей: $P_{I_{max}}$ увеличивалось наиболее быстро в течение первых 3 нед, затем в большинстве случаев продолжало увеличиваться, но приблизительно после 6 нед достигало плато [14, 15]. Развитие плато не обусловлено прекращением наращивания нагрузки (поскольку нагрузка при тренировке увеличивалась соответственно увеличению $P_{I_{max}}$), а отражает адаптацию мышц к силе тренирующего стимула [16, 17]. Таким образом, необходимы периодические изменения стимула.

Дозозависимый эффект ТИМ отмечен и у пациентов с нейромышечными заболеваниями, у которых была выявлена достоверная положительная корреляция между количеством успешно проведенных тренировок и улучшением функции дыхательных мышц [18].

Независимо от типа тренировки в большинстве случаев сеанс проводят без перерыва в течение 10–30 мин 1–2 раза в день, 5–7 дней в неделю.

Специфичность

Эффективность ТИМ зависит и от типа нагрузки: если дыхательные мышцы сокращаются с высокой частотой и низким напряжением, то тренируется выносливость, а если с низкой частотой и значительным напряжением – то сила. Тренировка средней интенсивности и частоты сокращений приводит к улучшению как силы, так и выносливости дыхательных мышц [15]. Таким образом, наиболее эффективными являются тренировки с умеренной нагрузкой, которые позволяют улучшить максимальную силу, скорость и мощность сокращения, а также выносливость мышц [15].

Было проведено исследование, в котором изучали влияние исходной длины инспираторных мышц (т.е. объема легких) на результаты ТИМ [19]. Исследование проводили в трех группах в течение 6 нед. Добровольцы выполняли статические максимальные инспираторные маневры от различного объема легких: остаточного объема, функциональной остаточной емкости (ФОЕ) и объема, равного сумме ФОЕ и $1/2$ емкости вдоха. Максимальное улучшение силы инспираторных мышц было достигнуто во время тренировки на уровне ОО [19]. Эти данные показывают, что ТИМ следует проводить при объеме легких ниже ФОЕ.

Обратимость

После прекращения тренировок происходит постепенное снижение силы и выносливости инспираторных мышц до исходного уровня. У пациентов с ХОБЛ через 3 мес после прекращения тренировок и P_{imax} , и выносливость инспираторных мышц сохранялись выше исходных значений (на 19 и 22%), но через 12 мес уже не было выявлено достоверных различий с исходными величинами [9]. Однако эффект ТИМ можно сохранить, если продолжить тренировки с частотой 2–3 дня в неделю [11, 15]. Некоторые исследователи для сохранения достигнутого улучшения рекомендуют один раз в месяц проводить короткие тренировочные циклы (например, в течение 1 нед).

Таким образом, общие принципы тренировки периферических скелетных мышц (уровень нагрузки, специфичность и обратимость) следует применять и при тренировке инспираторных мышц.

Показания для ТИМ

Существующие рекомендации определяют, что ТИМ показана пациентам со слабостью инспираторных мышц или ограничениями вентиляции при физической нагрузке [20–22]. Однако было продемонстрировано, что у пациентов без нарушения функции инспираторных мышц ТИМ также позволяет существенно уменьшить одышку и улучшить физическую работоспособность [8]. Эффективность ТИМ была выявлена и при исходно высокой силе инспираторных мышц у спортсменов – при $P_{\text{imax}} > 120$ см вод. ст. [14, 15]. Кроме того, была обнаружена сильная корреляционная связь между уменьшением одышки после ТИМ и увеличением P_{imax} (независимо от его исходного значения). Поскольку ТИМ не приводит к нежелательным эффектам, то ее можно рекомендовать практически любому пациенту с одышкой.

Данные литературы и наш опыт показывают, что ТИМ особенно эффективна у больных с обструктивными заболеваниями легких, такими как ХОБЛ [8, 9, 11, 23] и муковисцидоз [24–27]. Кроме того, ТИМ может оказаться полезной пациентам с бронхиальной астмой [28–30], сердечной недостаточностью [31–34] и нейромышечными заболеваниями [35–37]. В рандомизированном контролируемом исследовании было показано, что ТИМ устраняет отрицательное действие высоких доз системных глюкокортикостероидов на силу инспираторных мышц [38].

При назначении ТИМ необходимо заинтересовать пациента и объяснить цель тренировки, так как эффективность тренировки напрямую зависит от количества проведенных тренировок, а значит, мотивация пациента становится ключевым фактором эффективности. Таким образом, любой больной с одышкой и добросовестным отношением к тренировкам является подходящим кандидатом для ТИМ.

Противопоказания для ТИМ

Противопоказаниями для назначения ТИМ являются:

- спонтанный пневмоторакс в анамнезе;
- кровохарканье;

- нестабильное течение бронхиальной астмы и сниженное восприятие одышки;
- тяжелое обострение заболевания.

Алгоритм проведения ТИМ

ТИМ у больных с обструктивными заболеваниями легких можно проводить в стационаре и в домашних условиях. Контролировать ТИМ должен медицинский персонал, имеющий опыт работы с легочными больными и проведения лечебной физкультуры – физиотерапевт, инструктор лечебной физкультуры или пульмонолог. Проведение ТИМ в домашних условиях возможно после тщательного обучения пациента навыкам тренировки в стационаре или поликлинике. Полезно вовлекать в тренировочный процесс родных и близких больного, поскольку они могут обеспечить поддержку и усилить мотивацию пациента.

Чтобы минимизировать риск и гарантировать безопасность пациента, при назначении ТИМ надо учитывать следующие факторы: сопутствующие заболевания, отношение к тренировкам, степень одышки и тяжесть заболевания, параметры тренировки, которые позволят улучшить силу и выносливость инспираторных мышц.

Алгоритм тренировки включает тип тренажера, частоту, интенсивность и продолжительность сеансов тренировки (табл. 1).

Тренировки проводят при вертикальном положении тела пациента (обычно в положении сидя), но также возможно проведение ТИМ в положении лежа на спине или полуположа. Следует проинструктировать пациента, что дышать во время тренировки нужно максимально быстро – это позволит лучше задействовать мышцы вдоха (чем выше скорость укорочения мышцы, тем больше мышечных волокон активируется [39]).

Желательно, чтобы в тренировке участвовали все инспираторные мышцы, а не только диафрагма, поэтому объем легких должен изменяться максимально (от уровня остаточного объема до уровня общей емкости легких). На рис. 6 показано участие различных дыхательных мышц в изменениях объема легких. Важнейшей мышцей вдоха является диафрагма, а при спокойном дыхании она является единственной активной инспираторной мышцей. При глубоком форсированном дыхании активизируются и вспомогательные мышцы (лестничные и грудино-ключично-сосцевидные). В отличие от вдоха, выдох при спокойном дыхании происходит пассивно благодаря эластичности легочной ткани. При глубоком форсированном дыхании выдох становится активным, причем наиболее важную роль играют мышцы брюшного пресса.

Утомление мышц вначале ощущается только при высоких легочных объемах, и пациент во время тренировочного сеанса может преждевременно прерывать вдох, не достигая своего максимального инспираторного объема. Следует предупредить об этом пациента и убедить тренироваться не только при объемах, обеспечивающих комфортное дыхание. Пациенты могут прерывать тренировочный се-

Таблица 1. Алгоритм тренировки инспираторных мышц

Параметр	Определение	Рекомендации
Способ	Тип тренажера	Тренажер с регулируемым инспираторным сопротивлением или тренажер с пороговой нагрузкой
Частота	Количество тренировочных сеансов в день Число дней тренировок в неделю	1–2, в зависимости от физической работоспособности пациента 5–7, в соответствии с возможностями пациента
Интенсивность	Нагрузка, которую пациент должен преодолеть	Процент от P_{lmax} – наиболее общий подход для определения инспираторной нагрузки. Рекомендуемый диапазон – 30–60% P_{lmax} .
Длительность	Продолжительность каждого тренировочного сеанса	До 30 мин в день в зависимости от нагрузки: высокая нагрузка не может поддерживаться так же долго, как низкая. Вначале сеансы могут быть короткими – по 3–5 мин.
	Продолжительность курса тренировок	Более 6 нед. После прекращения тренировок показатели возвращаются к исходному уровню.
Контроль	P_{lmax}	Необходимы повторные измерения P_{lmax} для коррекции интенсивности нагрузки 1 раз в неделю (или по крайней мере 1 раз в месяц)

Таблица 2. Параметры, которые следует контролировать при тренировке

Цель	Клинические параметры
Выявить непереносимость физической нагрузки	Артериальное давление, частота сердечных сокращений, частота дыхания и другие признаки непереносимости физической нагрузки
Избежать утомления инспираторных мышц	Дискоординация движений дыхательных мышц, тяжелая одышка во время тренировки, жалобы на утомление после тренировочного сеанса
Избежать повреждения мышц	Болезненность мышц, снижение силы или выносливости
Избежать гиперкапнии	Уровень CO_2 в конце выдоха, насыщение гемоглобина кислородом, головная боль или спутанность сознания

анс, чтобы откашляться, или при появлении тяжелой одышки. Важно минимизировать продолжительность таких перерывов, но следует это сделать тактично, объяснив смысл этой меры. При необходимости тренировку можно сочетать с кислородотерапией.

Тренирующая нагрузка должна находиться в диапазоне 30–60% P_{lmax} . Первые дни тренировок – самые проблема-

тичные, поскольку пациенты, как правило, отказываются от любых видов активности, вызывающих одышку. Однако тщательная подготовка и короткие перерывы во время тренировок помогают преодолеть эти трудности и постепенно увеличить тренирующую нагрузку на 5–10% в течение недели.

При проведении ТИМ пациентам рекомендуется вести дневники, это напоминает им о необходимости соблюдать график тренировок и одновременно дает информацию о реальном проведении тренировок и их результате.

При проведении тренировки важно сохранять баланс между эффективностью и безопасностью пациента. Тщательный контроль состояния пациента позволит избежать утомления или повреждения инспираторных мышц. К сожалению, признаки утомления или повреждения дыхательных мышц (дискоординация движений или повышение напряжения CO_2 в артериальной крови) могут не проявляться, пока не произошла декомпенсация. В табл. 2 перечислены клинические параметры, которые необходимо контролировать.

Заключение

Контролируемые тренировки инспираторных мышц с нагрузкой 30–60% от их максимальной силы могут улучшить силу и выносливость инспираторных мышц, оказать положительное действие на респираторную функцию в целом и уменьшить одышку у пациентов с хроническими obstructивными заболеваниями легких.

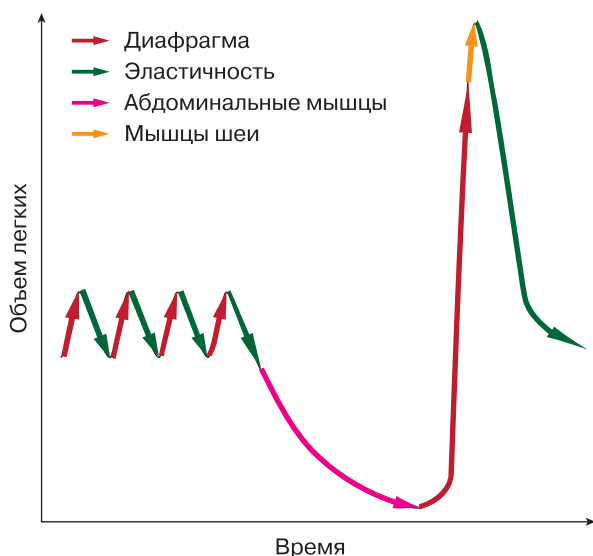


Рис. 6. Участие дыхательных мышц в изменениях объема легких при спокойном и форсированном дыхании.

Список литературы

1. Bell S.C. et al. // Thorax. 1996. V. 51. P. 126.
2. Гриппи М.А. // Патофизиология легких / Под ред. М.А. Гриппи. М.; СПб., 1999. С. 23–46.
3. Loughheed D.M. et al. // Amer. J. Respir. Crit. Care Med. 1995. V. 152. P. 911.
4. Петров Б.Д., Гриппи М.А. // Патофизиология легких / Под ред. М.А. Гриппи. М.; СПб., 1999. С. 279–296.
5. Whittom F. et al. // Med. Sci. Sports. Exerc. 1998. V. 30. P. 1467.
6. Geddes E.L. et al. // The Buyers' Guide to Respiratory Care Products. 2006. P. 59–67.
7. McConnell A.K. et al. // Breathe. 2005. V. 2. № 1. P. 38.
8. Lotters F. et al. // Eur. Respir. J. 2002. V. 20. P. 570.
9. Preusser B.A. et al. // Chest. 1994. V. 106. P. 110.
10. Ramirez-Sarmiento A. et al. // Amer. J. Respir. Crit. Care Med. 2002. V. 166. P. 1491.
11. Weiner P. et al. // Eur. Respir. J. 2004. V. 23. P. 61.
12. Larson J.L. et al. // Amer. Rev. Respir. Dis. 1988. V. 138. P. 689.
13. Lisboa C. et al. // Eur. Respir. J. 1997. V. 10. P. 537.
14. Volianitis S. et al. // Med. Sci. Sports. Exerc. 2001. V. 33. P. 803.
15. Romer L.M., McConnell A.K. // Med. Sci. Sports. Exerc. 2003. V. 35. P. 237.
16. Moritani T., de Vries H.A. // Amer. J. Phys. Med. 1979. V. 58. P. 115.
17. Hakkinen K. et al. // Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 1987. V. 56. P. 419.
18. Winkler G. et al. // Muscle Nerve. 2000. V. 23. P. 1257.
19. Tzelepis G.E. et al. // J. Appl. Physiol. 1994. V. 77. P. 789.
20. Fletcher G.F. et al. // Circulation. 1995. V. 91. P. 580.
21. McConnell A.K. et al. // Breathe. 2005. V. 2. № 1. P. 38.
22. [American Thoracic Society] // Amer. J. Respir. Crit. Care Med. 1999. V. 159. P. 1666.
23. Meshcheriakova N. et al. [Abstracts 16th ERS Annual Congress. Munich, Germany, September 2–6, 2006] // Eur. Respir. J. 2006. V. 28. Suppl. 50. P. S553 (3187).
24. Черняк А.В. и др. // Пульмонология. 2006. № 4. С. 39.
25. Черняк А.В. и др. // Сб. статей и тезисов VIII Национального конгресса по муковисцидозу “Муковисцидоз у детей и взрослых”. Ярославль, 5–6 июня 2007 г. С. 170–171.
26. Enright S. et al. // Chest. 2004. V. 126. P. 405.
27. Reid W.D. et al. // Clinical Rehabilitation. 2008. V. 22. № 10–11. P. 1003.
28. Weiner P. et al. // Chest. 2000. V. 117. P. 722.
29. Weiner P. et al. // Chest. 2002. V. 122. P. 197.
30. Weiner P. et al. // Chest. 1992. V. 102. P. 1357.
31. Chiappa G.R. et al. // J. Amer. Coll. Cardiol. 2008. V. 51. № 17. P. 1663.
32. Dall'Ago P. et al. // J. Amer. Coll. Cardiol. 2006. V. 47. № 4. P. 757.
33. Mancini D.M. et al. // Circulation. 1995. V. 91. P. 320.
34. Laoutaris I.D. et al. // J. Cardiopulm. Rehabil. Prev. 2008. V. 28. № 2. P. 99.
35. Koessler W. et al. // Chest. 2001. V. 120. P. 765.
36. Winkler G. et al. // Muscle Nerve. 2000. V. 23. № 8. P. 1257.
37. Wanke T. et al. // Chest. 1994. V. 105. P. 475.
38. Weiner P. et al. // Chest. 1995. V. 107. P. 1041.
39. Aagaard P. et al. // J. Appl. Physiol. 2000. V. 89. P. 2249. ●



Продолжается подписка на научно-практический журнал “Атмосфера. Пульмонология и аллергология”

Подписку можно оформить в любом отделении связи России и СНГ.
Журнал выходит 4 раза в год. Стоимость подписки на полгода
по каталогу агентства “Роспечать” – 100 руб., на один номер – 50 руб.

Подписной индекс 81166



Продолжается подписка на научно-практический журнал “Атмосфера. Нервные болезни”

Подписку можно оформить в любом отделении связи России и СНГ.
Журнал выходит 4 раза в год. Стоимость подписки на полгода
по каталогу агентства “Роспечать” – 80 руб., на один номер – 40 руб.

Подписной индекс 81610