Ю.Л.Винштот¹, К.Э.Гулицкий¹, Г.Б.Зеленин²

Новая методика неинвазивного обследования легких на основе применения Vibration Response Imaging

1 – компания Deep Breeze: 2 Hailan St. PO Box 140, North Industrial Park, Or-Akiva, 30600 Israel;

2 – компания "Рослин Медикал": 123610, Москва, Краснопресненская наб., 12, оф. 1708

Yu.L. Vinshtok, K.E. Gulitsky, G.B. Zelenin

Novel technique of non-invasive lung investigation with Vibration Response Imaging

Key words: Vibration Response Imaging (VRI), vibration energy, lung sounds, Quantitative Lung Data (QLD), regional distribution of lung sounds, envelope of acoustic signals (EVP), Deep Breeze.

Ключевые слова: вибрационная диагностика и визуализация легких, энергия вибрации, легочные звуки, количественная оценка легочных звуков, региональная оценка легочных звуков, энергетическая огибающая акустического сигнала, *Deep Breeze*.

Аускультация легочных звуков является важным элементом объективного осмотра больного. Со времени изобретения Р.Лаэннеком стетоскопа в 1816 г. аускультация обеспечивает врача важной клинической информацией. К сожалению, стетоскоп, прошедший многолетнюю эволюцию, несмотря на широту применения в повседневной врачебной практике, является недостаточно совершенным инструментом. Его возможности ограничены различными техническими характеристиками и степенью чувствительности, зависящими от производителя, с одной стороны, и уровнем интерпретации, обусловленной аускультативными навыками врача, — с другой [1, 2]. Таким образом, субъективный метод обследования посредством стетоскопа может быть источником расхождений и противоречий в оценке характера легочных звуков [3]. В ряде работ [1, 4] правомерно ставится под вопрос точность и, как следствие, диагностическая ценность стетоскопа.

Появление и развитие вычислительной техники дало толчок к исследованию дыхательных звуков посредством цифровых технологий с целью разработки методики обследования легких, которая могла бы давать объективные, точные, воспроизводимые данные, характеризующие с высокой вероятностью физиологическое состояние дыхательной системы.

Новые поколения компьютеров, позволяющие значительно ускорить процесс обработки информации, дали возможность перейти от "компьютеризированного стетоскопа" к оценке физиологического состояния легких на основе мультифокального анализа. Пространственную информацию, полученную с помощью легочных звуков, записанных одновременно в различных местах грудной клетки, можно оценить с помощью методов визуализации акустической информации [5]. Анализ этих данных позволяет расширить знания о патофизиологии протекающего респираторного заболевания, которые могут применяться в клинической практике [6].

Технология Vibration Response Imaging

Vibration Response Imaging (VRI — технология вибрационной диагностики и динамической визуализации легких) является новейшим методом визуальной и количественной оценки акустических сигналов легких. Она основана на регистрации вибрации, возникающей при прохождении воздуха по проводящим путям легких, и последующей компьютерной обработке полученных данных с целью построения динамических изображений.

В основе разработки вибрационной диагностики и динамической визуализации легких лежит общепринятая концепция возникновения легочных звуков. Инспираторные легочные звуки появляются вследствие турбулентности воздушных потоков на уровне лobarных или сегментарных бронхов [1, 6], в то время как экспираторные звуки — на более проксимальном уровне вследствие интрааминарных потоков [1]. Генерируемая при этом энергия вибрации после прохождения и фильтрации через паренхиму легких и окружающие ткани передается на поверхность грудной клетки [6], где регистрируется с помощью датчиков. Параметры записываемой с поверхности тела вибрации зависят от структурных и функциональных особенностей легких, а также имеют различный характер при вдохе и выдохе [1].

Система акустической визуализации

Система VRIxp (*Deep Breeze Ltd.*, Израиль) является коммерческой системой на основе VRI (рис. 1). Она предназначена для компьютеризированного обследования легких без радиационного облучения.

Аппаратное обеспечение системы VRI-XP представляет собой 2 матрицы (*V-arrays*), каждая из которых состоит из 20 пьезоэлектрических контактных сенсоров (*Meditron ASA*, Норвегия) с линейным частотным откликом в диапазоне частот 50–400 Гц

Рис. 1. Система VRlхр

Рис. 2. Матрицы, закрепленные на спине пациента посредством вакуума

с точностью ± 2 дБ. Расстояние между центрами сенсоров — 4 см по горизонтали и 5 см по вертикали. Сенсоры закрепляются на спине пациента с помощью слабого вакуума, постоянная величина которого во время записи контролируется системой (рис. 2).

Записанные как цифровой сигнал данные дыхания представляются в виде кривой изменения его интенсивности во времени. Для уменьшения помех, связанных с движением грудной клетки и межреберных мышц, а также сердечных тонов, применяются фильтры в диапазоне 150–250 Гц. Обработанные сигналы объединяются и делятся на отдельные кадры с интервалом 0,17 с для создания динамического изображения (рис. 3). Анализ сигналов включает в себя использование 4 алгоритмов: 1) вычисление изменения интенсивности сигналов во времени и вычисление динамической шкалы интенсивности энергии посредством градации серого цвета; 2) обнаружение влажных хрипов; 3) обнаружение сухих хрипов; 4) региональная оценка функционирования легких. Это позволяет системе VRlхр не только про-

Рис. 3. Покадровое изображение дыхательного цикла (вдох—выдох)

Рис. 4. Кадр максимальной энергии

тельного цикла и автоматически распознать и локализовать хрипы, но и количественно оценить полученные данные и, как результат, дать оценку состояния легких в реальном времени.

Результаты вибрационной диагностики и динамической визуализации легких могут быть представлены в нескольких вариантах: динамическое изображение (в режиме кинопетли или в режиме "кадр за кадром"), отдельное изображение в момент максимальной энергии вибраций (кадр MEF — *maximum energy frame*), график энергии вибрации и таблица количественных данных (региональное распространение энергии вибрации). Результаты проведенной записи пациента могут быть сохранены на жестком диске системы или загружены на компакт-диск или флэш-накопитель, а затем распечатаны для истории болезни.

Воспроизведение динамического изображения

Графическое изображение, выраженное в виде серой шкалы интенсивности сигналов, отфильтрованных в выбранном диапазоне частот и изменяющихся по времени, является динамической картиной VRl. Энергия вибрации, полученная во время записи, "нормализуется" и результат отражается на шкале интенсивности от 0 до 4. Энергия вибрации высокой интенсивности представлена темными цветами от темно-серого до черного, энергия вибрации низкой интенсивности — светло-серым, а отсутствие вибрации — белым цветом.

Системный интерфейс позволяет производить выбор и оценку статического изображения в любой точке вдоха и выдоха. Изображение, полученное на пике вдоха (рис. 4), представляет собой распределение энергии вибрации дыхательного цикла при максимальном значении ее средней величины и называется кадром MEF.

Рис. 5. График вибрационной энергии

Рис. 6. График EVP

График энергии вибрации

Динамическая картина дополнительно включает в себя график средней энергии вибрации всех сенсоров. Он представляет собой графическое изображение изменения интенсивности энергии вибрации по линейной шкале времени за период записи. Каждый дыхательный цикл представлен, как правило, 2 пиками — вдоха и выдоха (рис. 5). При анализе графика значение имеют продолжительность дыхательного цикла в целом, взаимоотношение фазы вдоха и выдоха, общий уровень интенсивности сигнала, уровень интенсивности на вдохе и выдохе и форма графика. Кроме того, система позволяет анализировать кривую, являющуюся энергетической огибающей записанного сигнала (EVP). Для анализа используются средние величины EVP сигналов (рис. 6), полученных от левой (EVP_{left}) и правой (EVP_{right}) матриц.

Количественная региональная оценка

Область каждого легкого делится на 3 региона в соответствии с группами микрофонов: 2 верхних ряда микрофонов составляют верхний, 2 средних — средний и 2 нижних — нижний регион. Система позволяет определить относительную величину интенсивности вибрации каждого региона легких к суммарной интенсивности всех сигналов (100 %) в процентном соотношении. После получения данных алгоритм выделяет относительный уровень энергии каждого региона из общего уровня вибрационной энергии. Информация по региональному распределению ин-

тенсивности энергии вибрации представлена в виде таблицы процентных соотношений, схожей с таблицей количественных результатов вентилиционно-перфузионной скintiграфии. Эти данные определяются как *quantitative lung data*, или QLD (таблица).

Обнаружение влажных и сухих хрипов

Влажные хрипы акустически представляют собой короткие прерывистые звуки, характеризующиеся графически внезапным резким подъемом интенсивности записанного сигнала с последующим более плавным снижением [1]. VRI не делает различия между разными типами влажных хрипов и выявляет их на графике сигнала как максимальные пики, соответствующие морфологическим параметрам, описанным *N.Gavriely* [7]

Сухие хрипы характеризуются акустически синусоидальной формой сигнала и плавным изменением несущей частоты в направлении высоких частот [1]. Алгоритм распознавания сухих хрипов в VRI обрабатывает записанный сигнал посредством метода дигитального разложения Фурье. Максимальные пики в диапазоне частот 100–700 Гц оцениваются в соответствии с эмпирическими спектральными критериями, сформулированными *N.Gavriely* [7].

Повторяемость результатов

Повторяемость результатов является предварительным необходимым условием разработки клинического метода визуализации дыхательных звуков. *N.Gavriely* и *M.Mahaghan* [8] показали, что при повторных записях спектральные характеристики звуков дыхания на вдохе и выдохе существенно не различаются. В свою очередь, *T.M.Maher et al.* [9] посредством технологии VRI обнаружили, что у здоровых индивидуумов с течением времени количественные показатели дыхания (включая интенсивность сигналов, отраженных графически) также значительно не изменяются. Анализ был проведен при 1-сторонней и перекрестной оценке записей, полученных через различные промежутки времени. *M.Yigla et al.* [10] выявили отличительные и предсказуемые особенности, присущие визуальной динамической картине дыхания здоровых индивидуумов и подтвержденные количественными данными. Эти характерные особенности составляют стандартную динамическую картину VRI, используемую для сравнения с динамической картиной при различных легочных патологиях.

Обзор литературы

Вслед за работами, подтверждающими повторяемость VRI картины у здоровых пациентов, были проведены исследования, целью которых было выявить возможности системы при различных легочных заболеваниях. *R.Mor et al.* [11] использовали визуализацию распространения дыхательных звуков как конкретный и чувствительный метод дифференциации

Таблица
Данные QLD

	Right, %	Left, %
Upper	12	17
Middle	15	19
Lower	18	19
TOTAL	45	55

между здоровыми легкими и легкими при пневмонии и плевральном выпоте. Клинические исследования *D. Anantham et al.* [12] демонстрируют высокую степень соответствия данных VRI и рентгенографии в определении плеврального выпота.

При анализе динамической картины и графика изменения энергии вибрации дыхательных звуков пациентов с острым приступом бронхиальной астмы (БА), по сравнению со здоровыми, *R.P. Dellinger et al.* [13] выявили, что сужение дыхательных путей сопровождается снижением интенсивности дыхательных звуков на вдохе и повышением — на выдохе. Использование VRI при остром приступе БА демонстрирует также значительную асинхронность в распространении дыхательных звуков между правым и левым легкими, подтвержденную как динамической картиной, так и при сравнении кривых EVP. После применения бронхолитиков асинхронность значительно снижается на фоне улучшения клинического состояния [14]. В работе *K.K. Guntupalli et al.* [15] выявлены возможности применения VRI для дифференциальной диагностики между БА и хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) с точностью 85 %, по сравнению с клинической диагностикой. Качественные и количественные (региональная оценка) данные, полученные с помощью этой методики, позволяют определить более четкие различия между этими заболеваниями и применять VRI для оптимизации и прогнозирования результатов лечения.

Снижение интенсивности легочных звуков является устойчивым индикатором обструктивной болезни и обструкции воздушных путей инородным телом при 1-стороннем проявлении или в сочетании с наличием сухих хрипов и кашля [16]. *H.D. Becker et al.* [17] изучали возможность использования технологии VRI при обструкции центральных дыхательных путей и для оценки результатов оперативной бронхоскопии. Было показано, что локализация источника обструкции центральных дыхательных путей оказывает влияние на расположение области снижения энергии вибрации. Исследования, проведенные *L. Bentur et al.* [18], продемонстрировали возможности системы VRI при подозрении на аспирацию инородного тела в педиатрической практике. В работе *M. Blanco et al.* [19] демонстрируется использование динамической картины VRI для пневмоторакса, при котором она характеризуется снижением интенсивности энергии вибрации в пораженной области легкого в течении всего дыхательного цикла.

S. Jean et al. [20] описали влияние ошибочной 1-сторонней интубации легких на распределение интенсивности дыхательных звуков. Результаты работы демонстрируют значительную диспропорцию между вентилируемым и невентилируемым легким, что позволяет рассматривать VRI как дополнительный быстрый и эффективный метод подтверждения правильного размещения эндотрахеальной трубки. *I. Cinel et al.* [21] описали возможности применения данной методики при ошибочной интубации пищевода.

Определение показаний к резекции легких, особенно при наличии опухоли, зависит от прогнозиро-

вания их послеоперационной функциональности, т. к. хроническая обструкция воздушного потока часто сопутствует раку легких. В таких случаях рекомендуется перфузионная сцинтиграфия. Недавнее исследование *R.C. Morice et al.* [22] показало отсутствие значительной разницы между методикой VRI и сцинтиграфией для прогноза функциональности легких после хирургического лечения. Высокая степень корреляции между VRI и сцинтиграфией также была продемонстрирована при проведении сравнительной оценки состояния пересаженного легкого до и после 1-сторонней трансплантации легких [23].

Аспекты практического применения

Суммируя результаты вышеупомянутых исследований, следует остановиться на аспектах применения VRI в практической медицине.

1. **Аспект массовости.** Методика дает возможность производить скрининг больших групп населения благодаря быстрой и простой процедуре записи пациента.
2. **Экономический аспект.** Отсутствие необходимости в специальном помещении и расходных материалах, связанных с эксплуатацией прибора, а также его мобильность позволяют использовать аппаратуру почти повсеместно со значительным экономическим эффектом по сравнению с другими визуальными методами обследования.
3. **Аспект безопасности.** Методика не подразумевает применения рентгеновского или какого-либо другого излучения, а использует вибрацию, возникающую естественным путем. Правомочно говорить о полной безопасности данной методики как для пациентов, так и для медицинского персонала. Процедура записи может быть повторена многократно в течение различных промежутков времени. Думается, вибрационная диагностика с динамической визуализацией легких является единственным визуальным методом обследования легких беременных женщин, безопасным для плода.
4. **Клинический аспект.** На основании проведенных исследований и накопленного опыта в настоящее время методика может применяться в практической медицине в нескольких направлениях:
 - дополнительная методика диагностики легочных заболеваний;
 - легкий и дешевый способ мониторинга эффективности терапии при острых и хронических состояниях (БА, ХОБЛ, пневмония, плевральный выпот, пневмоторакс);
 - контроль эффективности и диагностика осложнений при бронхоскопии и интервенционных бронхоскопических процедурах;
 - оценка функциональности при операциях на легких, включая трансплантацию;
 - диагностика инородных тел дыхательных путей, не визуализируемых другими методами;
 - оценка состояния легких курящих пациентов.

Заключение

Являясь новейшей методикой визуализации и количественной оценки легочных звуков, VRI объединяет в себе новейшие достижения компьютерных технологий и известные принципы обследования легких. Отсутствие облучения и неинвазивность технологии в сочетании с удобством и простотой применения системы VRIxр дают дополнительный качественный инструмент для выявления, диагностики, мониторинга и изучения легочных заболеваний.

Авторы благодарят компанию "Росслин Медикал" за помощь в подготовке статьи. Компания "Росслин Медикал" (www.rosslynmedical.com) является эксклюзивным дистрибьютором системы VRIxр в России и странах СНГ.

Литература

1. Postercamp H., Kraman S.S., Wodicka G.R. Respiratory sounds. *Advances beyond the stethoscope*. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 1997; 156 (3): 974–987.
2. Abella M., Formolo J., Penney D.G. Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscopes. *J. Acoust. Soc. Am.* 1992; 91: 2224–2228.
3. Loudon R.G. The lung exam. *Clin. Chest Med.* 1987; 8 (2): 265–272.
4. Wipf J.E., Lipsky B.A., Hirschman J.V. et al. Diagnosing pneumonia by physical examination: relevant or relic? *Arch. Intern. Med.* 1999; 159 (10): 1082–1087.
5. Kompis M., Postercamp H., Wodicka G.R. Acoustic imaging of the human chest. *Chest* 2001; 120: 1309–1321.
6. Sovijarvi A.R.A., Malmberg L.P., Charbonneau G. et al. Characteristics of breath sounds and adventitious respiratory sounds. *Eur. Respir. Rev.* 2000; 10: 591–596.
7. Gavriely N., Cagell D.W. *Breath sounds methodology*. Los Angeles: CRC Press; 1995. 18–21.
8. Mahaghan M., Gavriely N. Repeatability of measurements of normal lung sounds. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1994; 149: 477–481.
9. Maher T.M., Gat M., Allen D. et al. Reproducibility of dynamically represented acoustic lung images from healthy individuals. *Thorax* 2008; 63: 542–548.
10. Yigla M., Gat M., Meyer J.-J. et al. Vibration Response Imaging technology in healthy subjects. *Am. J. Roentgenol.* 2008; 191: 845–852.
11. Mor R., Kushnir I., Meyer J.J. et al. Breathe sound distribution images of patients with pneumonia and pleural effusion. *Respir. Care* 2007; 52: 1753–1760.
12. Anantham D., Herth F., Majid A. et al. Vibration Response Imaging in the diagnostic evaluation of pleural effusions: A feasibility study. *Respiration* 2008, DOI: 10.1159/000168784.
13. Dellinger R.P., Parillo J.E., Kushnir A. et al. Dynamic visualization of lung sounds with a vibration response device: A case series. *Respiration* 2008; 75 (1): 60–72.
14. Wang Z., Bartter T., Baumann B.M. et al. Asynchrony between left and right lungs in acute asthma. *J. Asthma* 2008; 45 (7): 575–578.
15. Guntupalli K.K., Alapat P.M., Bandi V.D. et al. Evaluation of obstructive lung disease with Vibration Response Imaging. *J. Asthma* 2008; 45 (10): 923–930.
16. Tomanske M., Gerber A.C., Stocker S. et al. Tracheobronchial foreign body aspiration in children – diagnostic value of symptoms and signs. *Swiss Med. Wkly* 2006; 136: 533–538.
17. Becker H.D., Slawik M., Miyazawa T., Gat M. Vibration Response Imaging (VRI) as a new tool for outcome assessment of interventional bronchoscopy: A prospective pilot study. *Respiration* 2008, DOI: 10.1159/000182972.
18. Bentur L., Livnat G., Hussein D. et al. Dynamic visualization of breath sound distribution in suspected foreign body aspiration: A pediatric case series. *J. Bronchol.* 2007; 14: 156–161.
19. Blanco M., Mor R., Fraticelli A. et al. Breath sound distribution images of patients with pneumothorax and of healthy subjects: Diagnostic yield of Vibration Response Imaging technology. *Respiration* 2008, DOI: 10.1159/000181166.
20. Jean S., Cinel I., Gratz I. et al. Image-based monitoring of one-lung ventilation. *Eur. J. Anaesthesiol.* 2008; 20: 1–7.
21. Cinel I., Jean S., Tay C. et al. Case report: Vibration Response Imaging findings following inadvertent esophageal intubation. *Can. J. Anaesth.* 2008; 3: 172–176.
22. Morice R.C., Jimenez C.A., Eapen G.A. et al. Vibration Response Imaging for the prediction of post operative lung function. *Chest* 2007; 132 (4): 486.
23. Kramer M.R., Raviv Y., Hardoff R. et al. Regional breath sound distribution analysis in single lung transplant recipients. *J. Heart Lung Transplant.* 2007; 26: 1149–1154.

Информация об авторах

Виншток Юрий Львович – клинический консультант компании Deep Breeze; тел.: +972-54-780-0279; e-mail: yuri.vinshtok@deepbreeze.com
 Гулицкий Константин Эдуардович – д. т. н., разработчик алгоритмов компании Deep Breeze; тел.: +972-52-361-0486; e-mail: konstantin.golitski@deepbreeze.com
 Зеленин Герман Борисович – руководитель по новым медицинским технологиям компании "Росслин Медикал" (эксклюзивный представитель Deep Breeze); тел.: (495) 258-15-09; e-mail: zelenin@rosslynmedical.com

Поступила 24.02.09
 © Коллектив авторов, 2009
 УДК 616.24-073