

УДК 616.24-073.43:534.7:615.47

Ю.В. Кулаков

Владивостокский государственный медицинский университет

АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЕГКИХ: ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Ключевые слова: аускультация легких, диагностика, респираторная акустика, пульмонология.

Сотрудниками кафедры терапии № 3 ВГМУ совместно с акустиками, математиками и инженерами впервые на Дальнем Востоке в 1988 г. была начата работа по исследованию акустики системы дыхания человека, воспроизведению и модификации известных методов исследования и созданию аппаратуры с уникальными диагностическими характеристиками. В статье подведен итог совместных исследований. Полученные результаты позволили представить к апробации три новых метода акустической диагностики легких. Для всех этих методов удалось выделить объективные акустические признаки, потенциально обладающие диагностической значимостью. В целом полученные в течение 20 лет исследований результаты внушают оптимизм и позволяют в обозримом будущем надеяться на внедрение в практическое здравоохранение простой и совершенно безвредной для человека акустической технологии диагностики заболеваний легких.

В 2009 г. исполняется 190 лет одному из выдающихся событий в истории медицины — предложению Лаэннека использовать стетоскоп для выслушивания легких и сердца [28]. Сегодня многие врачи не считают необходимым проведение тщательного физического исследования легких, всецело полагаясь на результаты рентгенографии. Подобное пренебрежение классическими методами обусловлено субъективностью восприятия перкуссии и аускультации легких, а также недостаточным пониманием физики происхождения и распространения звуков в системе дыхания человека.

Необходимо подчеркнуть, что легочные заболевания на всех этапах развития медицины были актуальны. В первой четверти XX века большую тревогу вызывал туберкулез, во второй — инфекционные и аллергические заболевания, в третьей четверти — рак легкого, который стал одной из острейших проблем медицины. Затем начали трансформироваться в распространенные болезни, редко встречавшиеся ранее экзогенный аллергический альвеолит, интерстициальный фиброз легких и др. Продолжает возрастать смертность от хронических обструктивных заболеваний легких, и этот рост ВОЗ прогнозируется до 2020 г.

В успехах пульмонологии большую роль сыграло появление и усиленное развитие объективных методов исследования, прежде всего рентгенографии, спирографии, бронхоскопии. И только аускультация легких продолжает оставаться более искусством, чем наукой, потому что ее результаты зависят от квалификации врача, особенностей его слуха, акустических свойств стетоскопа. Вышесказанное постоянно служило стимулом для объективизации аускультации легких и создания новых акустических методов диагностики их заболеваний: пневмофонографии (1923), бронхофонографии (1957), электронной перкуссии (1967) и

трахеофонографии (1989). Но почему не удается разработать акустическую технологию анализа дыхательных звуков? По мнению абсолютного большинства авторитетов в области респираторной акустики (а так называется отрасль акустики, исследующая дыхательную систему человека), это связано с недостаточно ясным пониманием процессов формирования и распространения звуков в системе дыхания.

Впервые на Дальнем Востоке в 1988 г. на базе ВГМУ и Научно-исследовательского физико-технического института при ДВГУ была начата работа по исследованию акустики системы дыхания человека, воспроизведению и модификации известных методов исследования и созданию аппаратуры с уникальными диагностическими характеристиками. В 1992 г. был получен первый патент на «Способ определения бронхофонии и устройство для его осуществления» [26].

Параллельно в клинике для лиц с бронхиальной астмой и хроническим бронхитом разрабатывались технические средства диагностики нарушений механики дыхания. Была подана заявка на изобретение «Способ диагностики нарушений бронхиальной проходимости», по которой был получен патент в 1997 г. [18]. Наиболее близкой к предложенному методу была трахеальная аускультация P. Lallement et al. — выслушивание дыхательных шумов в покое в области трахеи и их спектральный анализ для диагностики бронхиальной обструкции [29]. Нами был использован форсированный выдох с последующим сравнением амплитуды, длительности и формы кривой дыхательных шумов в области гортани с должными показателями, что позволяло при массовых профосмотрах выявлять лиц с нарушениями бронхиальной проходимости.

В 1995 г. был создан прибор для определения нарушений бронхиальной проходимости [19] и изданы рекомендации для врачей, утвержденные ученым советом Государственного научного центра пульмонологии МЗ РФ. Этот метод был использован при подготовке докторской диссертации для анализа междусуточной динамики выраженности нарушений бронхиальной проходимости [15]. Проведено успешное скрининг-обследование работников локомотивного депо.

Известно, что природа возникновения дыхательных шумов связана с турбулентностью воздушных потоков. Однако количественное описание механизмов их излучения отсутствовало. Новое в биофизике дыхательных шумов получило подтверждение в результате исследований и экспериментов В.И. Коренбаума и др. [25] совместно с врачами А.С. Килиным, И.А. Почечутовой, И.Ю. Малышенко, Е.В. Авдеевой, И.А. Бойко

и С.В. Горшковым. В частности, была предложена модель образования дыхательных шумов для описания форсированного выдоха [4, 12]. На основе расчетов линейных скоростей воздушных потоков в различных отделах бронхиального дерева (при допущении правильности постулата об их дихотомическом ветвлении) по объемной скорости и спектральным особенностям в различные фазы форсированного выдоха удалось описать механизмы шумообразования.

Как оказалось, дыхательный шум, регистрируемый при форсированном выдохе, разделяется по происхождению на аэродинамический и автоколебательный. В начале форсированного выдоха у здоровых наблюдается широкополосный шум турбулентного потока. Увеличение скорости выдыхаемого потока вызывает появление спектральных пиков в области частот около 200 Гц (трахея) и 350 Гц (главные бронхи). В процессе развития экспираторного стеноза в диапазоне 2–5-го уровней генерации бронхов наблюдается свисты форсированного выдоха в виде мощных узкополосных спектральных пиков в диапазоне 400–600 Гц.

Все иные узкополосные спектральные пики (хрипы различной тональности или свисты) в отличие от аэродинамических процессов, рассмотренных выше, представляют собой автоколебания, связанные с модуляцией потока воздуха колебаниями стенок дыхательных путей. Исходя из этой модели низкочастотные хрипы связаны с наличием секрета в просвете бронхов, а хрипы с частотами выше 300 Гц могут быть объяснены наличием зон смыкания стенок бронхов.

Удалось разработать оригинальный метод акустической интенсивиметрии, который позволяет разделить спектральные составляющие воздушного (по воздушным каналам легких) и структурного (по легочной ткани) проведения голоса и дыхательных шумов на грудную стенку [13]. Анализ показал, что составляющие воздушного проведения голоса в норме доминируют в диапазоне частот от 100 до 300 Гц в нижних отделах легких. При уплотнении легочной ткани над этими участками наблюдается замещение воздушного проведения составляющими структурного проведения в соответствующих областях спектра.

В результате использования данного метода была подтверждена двухрезонансная модель респираторного тракта, предложенная Л.И. Немеровским [21]. Была уточнена акустическая картина шумообразования дыхательных звуков. В частности, выяснено происхождение везикулярного дыхания. Показано, что в рамках принятой выше модели проведение этих звуков характеризуется почти исключительно воздушными составляющими, спектральный максимум которых лежит в районе 100–160 Гц. Последнее обстоятельство позволяет отметить, что, несмотря на многолетнюю научную полемику, Р. Лаэннек в понимании происхождения бронхиального и везикулярного дыхания был достаточно близок к истине.

В зависимости от глубины дыхания зона шумообразования везикулярных звуков может смещаться

примерно от 7-й до 13-й генерации бронхиального дерева [8]. Следовательно, эмпирическая рекомендация — форсировать дыхание при аускультации легких («дышите глубже») — подтверждена теоретически, так как глубокое дыхание позволяет выслушивать более дистально расположенные участки бронхиального дерева и повышает эффективность аускультации.

Второй докторской диссертацией, защищенной в рамках данного научного направления, стала работа, посвященная возможностям защиты акустических устройств для диагностики дыхательных шумов от взаимных помех воздушного и структурного проведения [6]. В последующие годы была существенно уточнена теоретическая картина шумообразования при форсированном выдохе [10, 24] и были получены еще два патента [11, 14]. Оценка влияния диаметра трахеи и главных бронхов на акустические характеристики форсированного выдоха потребовала разработки способа определения размеров бронхиального дерева с привлечением фибробронхоскопии [2]. Показана возможность применения трахеофонографии у детей [27] и у подростков [3, 20].

Результаты экспериментальных и клинических исследований позволили представить к апробации три новых метода акустической диагностики. Первый, на основе анализа трахеальных шумов, — трахеофонография форсированного выдоха для выявления нарушений бронхиальной проходимости. Второй, на основе исследования звуков голоса с разделением воздушного и структурного проведения, — комбинированная бронхофонография, предназначенная для оценки воздухонаполнения легочных тканей. Третий метод, основанный на сравнении амплитуд респираторных резонансов при перкуссии легких или определении бронхофонии, также предназначен для оценки состояния паренхимы легкого. Для всех этих методов удалось выделить объективные акустические признаки, потенциально обладающие диагностической значимостью [1, 3, 4, 9, 11, 14, 18, 20, 24]. Была разработана аппаратура, содержащая акустические датчики, подключаемые к звуковой карте компьютера, и программные средства обработки сигналов. При анализе сигналов используются временные, спектральные и корреляционные методы. Аппаратура отличается простотой и доступностью, ее последние варианты выполнены на базе портативных компьютеров типа «ноутбук».

Клиническая апробация предложенных методов диагностики осуществлялась на базах Отделенческой клинической больницы на ст. Владивосток, Городской клинической больницы №4, Городского аллергореспираторного центра, клиники Института медицинской климатологии и восстановительного лечения СО РАМН, Медицинского объединения ДВО РАН.

При первом методе — трахеофонография форсированного выдоха — получены высокие диагностические характеристики по выявлению нарушений бронхиальной проходимости (С.В. Горшков, И.А. Почекутова, В.В. Малаева). Референсная диагностика нарушений

бронхиальной проходимости осуществлялась с помощью спирографии. Разработаны диагностические критерии, применение которых обеспечивает высокую чувствительность у больных хроническим обструктивным бронхитом (94%), бронхиальной астмой (85%), а в целом — 89%. Специфичность составляет 86%. При сравнении чувствительности метода анализа трахеальных шумов форсированного выдоха и компьютерной спирографии у лиц с подтвержденными нарушениями бронхиальной проходимости оказалось, что при бронхиальной астме исследование трахеальных шумов в 1,3 раза чувствительнее спирографии (85 и 65%, $p < 0,05$). У больных с хроническим обструктивным бронхитом чувствительность обоих методов достоверно не различалась (95 и 100%, $p = 0,15$). Полученные результаты свидетельствуют о перспективности метода для выявления (скрининга) нарушений бронхиальной проходимости, и прежде всего у курильщиков после 40 лет.

Удалось успешно применить исследование трахеальных шумов для оценки функции внешнего дыхания у водолазов, использующих снаряжение замкнутого типа с повышенным содержанием кислорода [23].

При втором методе показана перспективность диагностики пневмоний по соотношению воздушной и структурной составляющих проведения голоса на грудную стенку [16, 17]. Так, И.Ю. Малышенко на больных в возрасте от 17 до 70 лет с рентгенологически подтвержденной внебольничной пневмонией [17] провела процедуру акустического картирования поверхности грудной клетки в соответствии со специально разработанными критериями соотношения воздушного и структурного проведения звука голоса пациента, произносящего фразу «три — три» [9]. Картирование выполнялось по участкам, лежащим на пересечении топографических линий грудной клетки с межреберьями, каждый из которых отображался на карте в виде квадрата, окрашенного в оттенки серого, которые соответствуют акустическим параметрам проведения голоса. У всех больных отмечалось резкое изменение соотношения воздушного и структурного звука (в сторону ослабления первого и усиления второго) над очагом пневмонии [9], согласующееся с предсказаниями теории [13]. Количество правильно поставленных акустическим методом диагнозов в группе больных соответствовало чувствительности 93,2%. Предлагаемый метод сопоставим по чувствительности с рентгенографией (95,9%) и более чем в 2 раза превосходит субъективную оценку проведения голоса на грудную стенку (40,5%). Количество ложноположительных диагностических заключений в группе здоровых соответствовало специфичности 94,5%. Только у двух больных был выявлен не подтвержденный рентгенологически дополнительный очаг в противоположном легком. Во всех остальных случаях локализация очага, обнаруженного акустически, полностью соответствовала рентгенологическим и физическим данным. Интересно отметить, что при среднем размере очага 3–4 см (рентгенологически), локальные

физические изменения распространялись на значительно большую площадь — на 2–3 сегмента. Размеры же очага, выявленного акустически, занимали промежуточное положение, указывая на более высокую разрешающую способность предлагаемого метода по сравнению с его субъективным аналогом. Достижение разрешения, характерного для рентгенографии, акустическим методом невозможно в принципе, однако важным достоинством последнего является отсутствие лучевой нагрузки, что представляется особо существенным при исследовании в динамике. Предлагаемый метод достаточно быстро реагирует на изменение течения заболевания. В случае прогрессирования процесса увеличивается площадь акустически выявляемого очага. Наблюдалась даже суточная динамика [16, 23]. При благоприятном течении пневмонии акустически выявляемый очаг постепенно уменьшается в размерах, что хорошо согласуется с клинико-лабораторными и рентгенологическими данными. В 2007 г. был получен патент на способ акустической диагностики очаговых изменений в легких человека [7].

Интересные результаты получены по третьему методу при диагностике пневмического очага по объективным характеристикам перкуторных звуков [1, 5]. Если использовать в качестве диагностического критерия очага пневмонии условие о не менее чем трех рядом лежащих точках с отклонениями от нормы, то у здоровых не выявляется ни одного такого очага (специфичность 100%), тогда как среди больных выявление очага соответствует чувствительности 88,9%. Столь высокие характеристики свидетельствуют о перспективности предлагаемого метода, что позволило оформить заявку на изобретение (Л.И. Ковалева, И.Н. Ковалева).

Таким образом, проводимые дальневосточными авторами исследования в области респираторной акустики охватывают фундаментальные и прикладные аспекты проблемы. Получено 5 патентов РФ, опубликованы две монографии [10, 16], более 30 журнальных статей. Ряд работ [4, 8, 12, 13, 19] включались в разное время Международной ассоциацией легочных звуков (ILSA) в список наиболее существенных публикаций в области респираторной акустики. Результаты исследований нашли отражение в двух докторских и пяти кандидатских диссертациях. В целом полученные в течение 20 лет данные внушают определенный оптимизм и позволяют в обозримом будущем надеяться на внедрение в практическое здравоохранение простой и совершенно безвредной для человека акустической технологии диагностики заболеваний легких.

В заключение следует отметить, что широкое внедрение персональных компьютеров продолжает расширять возможности медицины. Повторим вслед за В.В. Париным и Е.Б. Баевским [22], в чем состоят важнейшие достоинства компьютерной техники: 1) объективность регистрации и документации, получаемой при исследовании; 2) точный количественный анализ диагностических данных; 3) высокая чувствительность измерительной аппаратуры и ее быстроедействие;

4) возможность хранения информации и воспроизведения ее через любой срок; 5) возможность одновременной и многоканальной регистрации различных процессов, протекающих в разных или в одном и том же органе; 6) безопасность и неинвазивность; 7) обеспечение длительного и непрерывного наблюдения с автоматическим контролем состояния пациента.

Литература

1. Батищев Э.М., Бойко И.А., Коренбаум В.И. и др. // *Вестник новых медицинских технологий*. — 2003. — Т. 10, № 1–2. — С. 8–9.
2. Горшков С.В., Кулаков Ю.В. // *Новые медтехнологии на Дальнем Востоке : тез. докл. 2-й Дальневосточной конференции*. — Владивосток, 1998. — С. 82–83.
3. Ицкович А.И., Шумарова Е.Ю., Коренбаум В.И. // *Тихоокеанский мед. журнал*. — 2005. — № 2. — С. 11–13.
4. Килин А.С., Коренбаум В.И., Кулаков Ю.В., Тагильцев А.А. // *Физиология человека*. — 1999. — Т. 25, № 3. — С. 128–130.
5. Ковалева И.Н., Кулаков Ю.В., Ковалева Л.И. // *Бюл. ВСНЦ СО РАМН*. — 2005. — № 4. — С. 9–14.
6. Коренбаум В.И. *Защита акустических устройств от ближних полей собственных помех : автореф. дис. ... д-ра тех. наук*. — Владивосток, 1999.
7. Коренбаум В.И., Бондарь Г.Н., Костив А.Е., Кулаков Ю.В. *Способ акустической диагностики очаговых изменений в легких человека* // Патент РФ 2304928 / Заявл. 05.10.2005 г. Оpubл. 27.08.2007 г. БИПМ № 24.
8. Коренбаум В.И., Кулаков Ю.В., Тагильцев А.А. // *Физиология человека*. — 1997. — Т. 23. — С. 133–135.
9. Коренбаум В.И., Кулаков Ю.В., Тагильцев А.А., Малышенко И.Ю. // *Вестник новых медицинских технологий*. — 1997. — № 3. — С. 79–81.
10. Коренбаум В.И., Почекутова И.А. *Акустико-биомеханические взаимосвязи в формировании шумов форсированного выдоха человека*. — Владивосток : Дальнаука, 2006.
11. Коренбаум В.И., Почекутова И.А., Кулаков Ю.В. *Способ диагностики нарушений бронхиальной проходимости* // Патент РФ 2212186 / Заявл. 26.02.2002 г. Оpubл. 20.09.2003 г. БИПМ № 26.
12. Коренбаум В.И., Тагильцев А.А., Кулаков Ю.В. // *Акустический журн.* — 1997. — Т. 43, № 1. — С. 78–86.
13. Коренбаум В.И., Тагильцев А.А., Кулаков Ю.В. // *Акустический журн.* — 1998. — Т. 44, № 3. — С. 380–390.
14. Коренбаум В.И., Тагильцев А.А., Кулаков Ю.В. *Способ диагностики нарушений бронхиальной проходимости* // Патент РФ 2173536 / Заявл. 26.04.1996 г. Оpubл. 20.09.2001 г. БИПМ № 26.
15. Кулаков Ю.В. *ХНЗЛ в условиях муссонного климата: вопросы диагностики, лечения и профилактики гелиометеотропных реакций : автореф. дис. ... д-ра мед. наук*. — СПб., 1994.
16. Кулаков Ю.В., Бондарь Г.Н. *Аппаратная диагностика пневмонии*. — Владивосток, 2007.
17. Кулаков Ю.В., Малышенко И.Ю., Коренбаум В.И. // *Пульмонология*. — 2002. — Т. 12, № 5. — С. 29–32.
18. Кулаков Ю.В., Тагильцев А.А., Коренбаум В.И. *Способ диагностики нарушений бронхиальной проходимости* // Патент РФ 2082316. / Заявл. 18.09.1992 г. Оpubл. 27.06.1997 г. Бюл. № 18.
19. Кулаков Ю.В., Тагильцев А.А., Коренбаум В.И., Кириченко С.А. // *Мед. техника*. — 1995. — № 5. — С. 20–23.
20. Малаева В.В., Шумарова Е.Ю., Почекутова И.А. // *Тихоокеанский мед. журнал*. — 2006. — № 2. — С. 33–34.
21. Немеровский Л.И. *Пульмофонография*. — М. : Медицина, 1981.
22. Парин В.В., Баевский Р.М. *Введение в медицинскую кибернетику*. — М. : Медицина, 1966.
23. Почекутова И.А., Коренбаум В.И., Агапов Я.В. // *Фундаментальные и прикладные вопросы естествознания : мат. Всероссийской межвуз. научно-технической конф.* — Владивосток, 2003. — Т. 1. — С. 162–164.
24. Почекутова И.А., Коренбаум В.И., Кулаков Ю.В. и др. // *Физиология человека*. — 2001. — Т. 27, № 4. — С. 441–445.
25. Тагильцев А.А., Коренбаум В.И., Кулаков Ю.В. // *Вестник новых мед. технологий*. — 1997. — № 1–2. — С. 30–36.
26. Тагильцев А.А., Кулаков Ю.В. *Способ определения бронхофонии и устройство для его осуществления* // Патент СССР 1777560. / Заявл. 15.11.1989 г. Оpubл. 23.11.1992 г. Бюл. № 43.
27. Шумарова Е.Ю., Грекова Е.А. // *Молодежь и медицинская наука в XXI веке : тез. IX итоговой научно-практической конференции студентов и молодых ученых*. — Киров, 2004. — С. 30.
28. Laennec R.T.H. *De l'auscultation mediate on traite du diagnostic des maladies des poudrons et du coeur, fonde principalement sur ce nouveau moyen d'exploration*. Brosson J-A., Chaude J-S. — Paris, 1819.
29. Lallement P., Chevallier G.M. // *Proc. 8th Ann. Conf. IEEE / Eng. Med. and Biol. Soc., Fort Worth Tex.* — 1986. — Vol. 2. — P. 1248–1251.

Поступила в редакцию 23.01.2008.

ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF LUNG DISEASES: THE OPPORTUNITIES OF METHODS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Yu. V. Kulakov

Vladivostok State Medical University

Summary — Physicians of the department of therapy No. 3 of the Vladivostok State Medical University together with acoustics, mathematicians and engineers for the first time on the Far East in 1988 had been started the research of acoustics of system of human breath, reproduction and updating of known methods of research and to creation of the equipment with unique diagnostic characteristics. In the article the result of joint research is done. The received results have allowed presenting to approbation three new methods of acoustic diagnostics of the lungs. For all these methods it was possible to allocate the objective acoustic attributes potentially possessing the diagnostic importance. As a whole, the results received during 20 years of research inspire optimism and allow to hope in the foreseeable future for introduction of the simple and completely harmless to the human acoustic technology of pulmonary diagnostics in practical public health.

Key words: lung auscultation, diagnostics, respiratory acoustics, pulmonology.