А. Є. Апікова

Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра біомедичної інженерії

Аналіз акустичних методів діагностики бронхолегеневих захворювань

Патологія органів дихання займає одне з перших місць у структурі захворюваності населення усіх вікових груп. [3]. При прослуховуванні хворого (аускультатії), лікар намагається з'ясувати місцезнаходження джерела патологічних шумів та за характером звуку виявляє вид патології. Від характеру аускультативних звуків (крепітація, сухі чи вологі хрипи, шум тертя плеври) залежить клінічний діагноз [4]. Іноді виникають звуки які неможливо ідентифікувати за причини їх нечіткості та слабкої сили, із-за чого лікар сумнівається до якої патології вони належать. Крім того, для дітей молодшого віку процес аускультатії має певні складнощі та обмеження: маленька дитина часто плаче при дослідженні, не може виконувати команди лікаря про контрольоване дихання; у цьому віковому періоді не застосовуються об'єктивні методи дослідження респіраторної системи, як спірометрія та пікфлоуметрія. За причинами, що вказані вище, мають місце випадки помилкових діагнозів.

Метою цієї статті є аналіз існуючих акустичних методів діагностики бронхолегеневих захворювань. Визначення їх можливостей для проведення діагностики у різних вікових груп пацієнтів. Виявлення позитивних та негативних сторін різних методів.

Акустичні методи діагностики бронхолегеневих захворювань

Електронні стетоскопи

Для вислуховування дихальних шумів були запропоновані електронні стетоскопи з підсилювачем звуку. Такі стетоскопи не дуже поширені у практиці лікарів. Це в першу чергу, пов'язано з їх високою ціною. По-друге, проблемою є слабка чутливість складних шумів та, як наслідок, для лікаря виникають труднощі з правильним тлумаченням складних шумів. Це пов'язано з тим, що на наш час не існує підсилювачів спроможних забезпечити однаково добре підсилення усіх частот укупі. Тому звук, проходячи через електронний стетоскоп, змінюється. По-третє,

стетоскоп сконструйований як замкнута акустична система, що складається з контактної воронки закритої мембраною, полімерних м'яких трубочок та навушників. В цій системі провідником звуку є повітря. Коли лікар проводить аускультатію, то він прикладає до шкіри пацієнта воронку з мембраною, при цьому шкіра пацієнта також діє як мембрана, акустичні властивості якої міняються в залежності від сили натиску. Чим сильніше натискає лікар на шкіру пацієнта, тим гірше проводяться звуки низьких частот та навпаки. Крім того має значення розмір воронки з мембраною.

Про те на якість аускультатії впливають не лише технічні характеристики стетоскопа, але й шуми серця і зовнішні умови проведення обстеження: присутні в приміщенні не повинні шуміти, пацієнт не повинен рухатись, не повинен видавати звуки. При проведенні обстеження пацієнт має слідувати вказівкам лікаря про контрольоване дихання. У разі обстеження маленьких дітей з тишею, нерухомістю та контрольованим диханням можуть виникнути складнощі. В четвертих, як було сказано вище, стетоскоп є приладом індивідуального користування, цього вимагає основне правило аускультатії. Таке правило існує для того, щоб лікар завжди користувався тим апаратом, до якого звик. Причиною такої вимоги є незначні різниці в конструкції стетоскопів. При користуванні новим приладом лікарю складніше ідентифікувати шуми і потрібен деякий час на звикання.

Перкусія

Проблему автоматизації перкусійного методу вирішили за рахунок апарату *Locarphony*, котрий дозволив знімати двомірні акустичні зображення патологічних змін внутрішніх органів пацієнта. Принцип роботи цього апарату полягає у тому, що на тіло пацієнта накладають випромінювачі акустичних збуджувачих сигналів та мікрофони. При проходженні через тіло пацієнта, від випромінювача до приймача, акустичний сигнал проникає крізь різні внутрішні

структури. Кожен шар, через який проходить звук, має свою щільність, що відображається на характеристиках звуку. При запальних процесах внутрішні органи, як правило, збільшуються у розмірах та наповнюються рідинами, наприклад, збільшується кровонаповнення. Тому акустичний сигнал на виході з тіла має змінений тон при наявності патологічних процесів, що дозволяє також визначати розміри органів. Частотний діапазон Лосарфону складає від 300 Гц до 3000 Гц, при цьому точність отриманого зображення патології у площині складає 2—3 мм [5]. Така точність зумовлена розмірами акустичного приймача.

Недоліком цього методу є побудова лише двомірного зображення патологічного процесу. Він не дає повної картини запалення, а саме — не може виявити глибину залягання запальних процесів та прослухати і ідентифікувати характер звуків, що безпосередньо створюються пневмоніями.

Бронхофонографія

Бронхофонографія — дослідження, засноване на об'єктивному комп'ютерному аналізі різних характеристик дихальних шумів. Цей метод використовують для обстеження усіх вікових категорій пацієнтів на предмет бронхолегеневих захворювань. У ньому, візуалізація порушень дихальної системи, базується на дослідженні частотно-амплітудних характеристик дихальних шумів. Для реалізації методу створено комп'ютерний акустичний діагностичний комплекс (КАДК) «Паттерн — 01» з програмним забезпеченням PatternMAK [6].

Принцип методу полягає у реєстрації дихальних шумів за допомогою акустичних приймачів з високою чутливістю та широким спектром частот, включаючи ті, що не виявляються при аускультатії за допомогою стетоскопу. Метод дозволяє фіксувати часову діаграму, пропорційну акустичному шуму, що викликаний запальними процесами та виникає при диханні. Недоліками методу та його реалізації є те, що діагностується лише вид бронхолегеневої патології за характером шумів. А виявити у якій частині дихальної системи знаходиться патологія неможливо. Це зумовлено особливостями конструкції датчиків. У комплексі «Паттерн — 01» використовують трубку із загубником в якій розташовано датчик. Для прослуховування шумів пацієнт має дихати у цю трубку. У разі діагностування немовлят використовують спеціальну маску, яка одягається на зовнішні органи дихання. Крім того, що датчик лише один, така маска може спричинити дитині незручності.

Комп'ютерний комплекс відображає і фіксує дихальні шуми на екрані монітора, а також об'єктивно оцінює характеристики дихальних шумів, які не виявляються при фізикальному обстеженні. При ретельній оцінці легеневих звуків можливе виявлення патології бронхолегеневої системи задовго до появи таких грубих звукових феноменів, як хрипи. В даний час акустичні методи оцінки стану дихальної системи активно вивчаються і все ширше впроваджуються в практику. Бронхофонографічне дослідження легких є методом оцінки патерну дихання, заснова-

ним на аналізі амплітудно-частотних характеристик спектра дихальних шумів.

Простота і неінвазивний бронхофонографічного дослідження легких, проведення обстеження при спокійному диханні дитини, дозволяє застосовувати дану методику у дітей з перших днів життя. Бронхофонографічне дослідження проводиться за допомогою комп'ютерного акустичного діагностичного комплексу. До його складу входить апаратний комплекс, датчик з загубником, персональний комп'ютер з вбудованим аналого-цифровим перетворювачем і програмним забезпеченням. Принцип методу полягає в реєстрації дихальних шумів за допомогою спеціальних датчиків, що володіють високою чутливістю в широкому спектрі частот, включаючи ті частоти, які не виявляються при аускультатії, але мають важливе діагностичне значення. Метод дозволяє зафіксувати тимчасову криву, пропорційну акустичному шуму, що виникає при диханні. Сканування респіраторного циклу проводиться в певному частотному діапазоні. З метою виключення впливу низькочастотних кардіальних шумів є спеціальний низькочастотний фільтр. Виділяються три зони частотного спектра: низькочастотний діапазон, середньочастотний діапазон, високочастотний діапазон [6]. Дослідження проводиться не менше трьох разів до отримання достатніх результатів, без наявності артефактів на отриманому зображенні кривої. Запис проводиться протягом 10 секунд. Комп'ютерний акустичний діагностичний комплекс дозволяє проводити пошаровий аналіз бронхофонограм і виділяти частину акустичного патерну, а також отримувати кількісну оцінку характеристик дихальних шумів як в цілому по патерну, так і диференційовано (по діагностичним зонам). Для аналізу патерну дихання з записаного 10-секундного інтервалу вибирається 4-х секундний інтервал, який складається з 4-х блоків (секунд). Кількісна оцінка роботи дихання проводиться за абсолютними цифрами і за коефіцієнтами, які представляють відносні величини для виключення впливу індивідуальних особливостей пацієнтів на характеристики патерну дихання [7].

Лікар за допомогою діаграм проводить оцінку наступних параметрів:

Частотно-амплітудні характеристики (АЧХ) дихальних шумів;

Довжину респіраторного циклу;

Довжину та співвідношення фаз вдиху та видиху;

Наявність високочастотних коливань;

Акустичний компонент роботи дихання (АКРД);

Ця методика має досить широкі можливості, але і деякі недоліки, такі як неможливість виявити локалізацію джерела шумів, обмеженість в обстеженні пацієнтів за віком та станом свідомості.

Ультразвукове сканування

Як відомо, при виникненні патологічних процесів в легенях, таких як пневмонії, ателектази або об'ємні новоутворення, відбувається ущільнення тканин і зменшення легкості, тому це створює можливості для проходження ультразвуку та візуалізації осередків ураження, розташованих в субплевральних відді-

лах легенів. Коли розвивається пневмонія, то в легеневій тканині виникає зона запальної інфільтрації, альвеоли заповнюються ексудатом, розвивається набряк і посилюється кровонаповнення. Зазначені фактори призводять до зменшення повітряного простору в тканинах легенів, що робить легеневу тканину ехографічно видимою. Запальний осередок в легеневій тканині на початку захворювання визначається як ділянка неправильної форми зі зниженою ехогенністю і нечіткими контурами. Але при подальшому розвитку захворювання і його ускладненні дрібні безповітряні ділянки зливаються і збільшуються в розмірах, а при утворенні абсцесу виникає порожнина заповнена рідиною, що різко збільшує ехогенність такої ділянки [8].

До недоліків ультразвукової діагностики органів грудної клітини можна віднести недостатню інформативність. Це пов'язано з тим, що мінімальний прошарок легеневої тканини між пневмонічним вогнищем грудної стінки не проводить ультразвук і робить місце запалення невидимим; розташовані глибоко в легеневій тканині осередки запальних процесів візуалізації недоступні; немає можливості оцінити поширеність пневмонії. Інше обмеження полягає в тому, що для проведення дослідження та інтерпретації результатів необхідні особливі навички, отримані на практиці і в процесі навчання. З останнім недоліком можна впоратися, використовуючи для обробки отриманої інформації спеціальні програми для ПК. Як можна побачити ультразвукова діагностика пневмонії є малоінформативною. Контури тканин, схильних до запального процесу не чіткі, практично не відрізняються від загального фону. Зі сказаного вище можна зробити висновок, що ультразвукова діагностика не підходить для обстеження дітей, у яких є підозри на пневмонію через малоінформативність методу.

Вібраційна динамічна візуалізація

Методика Vibration Response Imaging (VRI — технологія вібраційної діагностики і динамічної візуалізації легень) — це спосіб візуальної і кількісної оцінки акустичних сигналів легких. Вона заснована на реєстрації вібрації, що виникає при проходженні повітря по провідних шляхах легенів, і подальшої комп'ютерної обробки отриманих даних з метою побудови динамічних зображень. В основі розробки вібраційної діагностики і динамічної візуалізації легень полягає загальноприйнята концепція виникнення легеневих звуків [9].

Система VRI складається з двох матриць, що складаються в свою чергу з 20 п'єзоелектричних датчиків. Датчики є контактними і накладаються на поверхню грудної клітки пацієнта з боку спини. Частота відповіді в діапазоні 50—400 Гц. Для отримання корисної складової сигналу, інформація з датчиків проходить фільтр в діапазоні 150—250 Гц. З оброблених сигналів формуються кадри з інтервалом 0,17 с для подальшого створення динамічного зображення.

Програмне забезпечення системи VRI формує кадри виходячи з енергії дихального процесу. А саме, аналіз складається з чотирьох процесів: 1 — визначення зміни інтенсивності в часі енергії вібрації ди-

хання і формування шкали цієї енергії за допомогою градації сірого кольору, 2 — знаходження вологих хрипів, 3 — знаходження сухих хрипів, 4 — регіональна оцінка роботи легенів. Результати представляються у двох варіантах: динамічне зображення — фільм, що складається з кадрів, окреме зображення — зазвичай кадр максимальної енергії. Високі енергії вібрацій відповідають більш темним зонам, а світлі ділянки відповідно представляють низькі вібрації. Пошук хрипів здійснюється при порівнянні графіка еталона і запису обстеження. Тут можна побачити, що метод працює за принципом електронного стетоскопа, відрізняючись лише можливістю візуалізації акустичного шуму в вигляді графіка. Недоліками методу є громіздка матриця датчиків, відсутність повної картини поширення і точної локалізації в легеневих тканинах джерел акустичного сигналу. Тому визначити точне місце розташування запального процесу не є можливим. Представлений метод дає лише загальне уявлення про що протікають запальних процесах в дихальній системі пацієнта і для вирішення проблеми діагностики потрібні додаткові дослідження.

Пасивна ехолокація

Наступний методом, який потребує уваги, це метод пасивної ехолокації —методика обстеження та виявлення джерела аускультативних шумів у дихальній системі людини за допомогою спеціального обладнання та віртуальної моделі дихальної системи людини. Ця методика представляє собою порівняльний аналіз акустичних хвиль дихального патерну з еталоном, що зберігається у базі даних діагностичної системи. Після ідентифікації шумів проводиться їх спектральний аналіз та, за характеристиками отриманих шумів, розраховується координата джерела [10].

Отримувані з акустичних датчиків дані у вигляді аналогового сигналу потрапляють до блоку програмного забезпечення. Цей сигнал проходить відцифровку та математичну обробку. Обробка включає в себе порівняння сигналу з еталоном, що зберігається у пам'яті діагностичного комплексу, порівняльний аналіз сигналів з кожного датчика між собою, для виявлення затримки надходження сигналу. У разі, якщо аналіз виявив наявність у сигналі патологічних шумів, та затримку надходження на кожен з датчиків цієї складової сигналу, проводиться наступна стадія аналізу. До цієї стадії відноситься розрахунок координати джерела патологічного шуму за затримкою його надходження до датчиків, та пошук відділу легенів, до якого відноситься отримана координата. Далі система відображає у блоці графічного відображення картину у вигляді тривимірної моделі легенів із зазначеною ділянкою, що зазнала шкоди від захворювання. Крім того, є можливість побачити картину спектрального аналізу сигналу, та отримати рекомендації щодо належності цієї картини до того чи іншого захворювання. Перевагами методу є невелика кількість малих акустичних датчиків, відсутність будь яких випромінень у тіло пацієнта, відсутність маски для дихання, можливість поводити процедуру

аускультативні навіть новонародженим та пацієнтам, що знаходяться у непритомному стані. Із перспектив даної методики слід зазначити можливість поєднання діагностичного обладнання з лікувальним. Це дозволить відстежувати не тільки прогрес лікування, а й контролювати введення лікарських засобів до дихальної системи за допомогою інгалятора.

Висновки

Найбільш інформативним та перспективним неінвазивним акустичним методом діагностики бронхолегеневих захворювань є метод пасивної ехолокації.

Він надає можливість повного аналізу дихального патерну за амплітудно-частотними характеристиками, порівнює та ідентифікує шуми, що були отримані з акустичних датчиків. Розміри та розташування матриці акустичних датчиків не сковують рухів та не вимагають певних навичок дихання пацієнта. Після проведення аналізу, система розраховує місце джерела патологічних шумів у товщі тканини та указує лікарю на сегмент легенів, що зазнав ушкодження. Застосування пасивної ехолокації у першу чергу рекомендовано немовлятам та хворим у непритомному стані.

Список використаної літератури

1. Child Health Epidemiology Reference Group of WHO and UNICEF. Global, regional, and national causes of child mortality in 2008: a systematic analysis / R. E. Black, S. Cousens, H. L. Johnson [et al.] // *Lancet*. — 2010. — № 375. — Р. 1969—1987.
2. Яковлев В. П. Рациональная антимикробная фармакотерапия / В. П. Яковлев, С. В. Яковлев — Руководство. — М.: Литерра, 2003. — 1004 с.
3. Пневмония [Электронный ресурс]: Информационный бюллетень № 331 Ноябрь 2014 г. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs331/ru/>.
4. Справочник педиатра / [авт. кол. В. Г. Арсентьев, А. О. Булыгина, Н. В. и др.] 3-е изд. Под ред. заслуженного деятеля науки РФ, проф. Н.П. Шабалова — СПб.: Питер, 2014. — 736 с.: ил. — (Серия «Спутник врача»): 412 — 418 с.
5. Locaphony — new acoustical method of express functional medicine diagnostics V. Svet, J. Blinkov, S. Nikolaev, V. Murashev XI Session of the Russian Acoustical Society. Moscow, November 19-23, 2001.
6. Способ акустического спектрального анализа обструктивных заболеваний легких: пат. РФ №2354285 C1, МПК A61B5/00, A61B5/08 / Гусейнов А. А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дагестанская государственная медицинская академия Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию». Заявл. 11.09.07; Опубл. 10.05.2009 Бюл. №13.
7. Восканян А. Г. Пневмония. Особенности течения и лечение больных астмой [Электронный ресурс] / Восканян А. Г., Восканян А. А. / Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования» №6, 2007 (часть 2) С. 20-32 <http://www.science-education.ru/24>.
8. Дмитриева Е.Ю. Спорные вопросы ультразвуковой диагностики при заболеваниях органов грудной клетки / Е.Ю. Дмитриева, А.В. Катилов, Е.С. Откаленко, Л.Н. Бровинска // Пульмонология. Аспекты диагностики. Здоров'я України. — № 1. — 2010. — С. 60—62.
9. Виншток Ю.Л. Новая методика неинвазивного обследования лёгких на основе применения Vibration Response Imaging / Ю.Л. Виншток, К.Э. Гулицкий, Г.Б. Зеленин [электронный ресурс] // Пульмонология. 2009. №2.: <http://www.pulmonology.ru/magazine/archive/2009/845/>.
10. Способ диагностики пневмоний: пат. 98929 Украина МПК A61B7/04, H04R1/46 / Апилова А.Е., Федотов Д.Н., Клименко В.А.; заявитель и патентообладатель Харьковский национальный университет радиоэлектроники. — № u 201413072; заяв. 05.12.14; Опубл. 12.05.2015; Бюл. №9.

Анализ акустических методов диагностики бронхолегочных заболеваний

А. Е. Апилова

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В статье проводится анализ существующих ныне акустических методов диагностики бронхолегочных заболеваний. Рассматриваются их возможности, положительные стороны и недостатки. Приводится пример новых разработок в области диагностики дыхательной системы человека. Также проводится сравнительный анализ преимуществ таких методов диагностики как: бронхофонография, ультразвуковая визуализация, технология вибрационной диагностики и динамической визуализации легких. По результатам анализа сделан вывод о возможности развития акустической диагностики бронхолегочных заболеваний.

Ключевые слова: бронхофонография, ультразвуковая визуализация, Vibration Response Imaging, пассивная эхолокация, пневмония, аускультация, акустическая диагностика.

Analysis of acoustic methods of diagnosis bronchopulmonary diseases

A. E. Apikova

Kharkov National University of Radio Electronics

The article analyzes the currently existing methods of acoustic diagnostics of bronchopulmonary diseases. We consider their capabilities, the advantages and disadvantages. An example of new developments in the field of diagnostics of human respiratory system. Also, a comparative analysis of the advantages of such diagnostic methods as bronchophonography, ultrasound imaging, vibration diagnostics and dynamic lung imaging technology. According to the analysis the conclusion about the possibility of acoustic diagnostics of bronchopulmonary diseases.

Key Words: bronchophonography, ultrasound imaging, Vibration Response Imaging, passive echolocation, pneumonia, auscultation, acoustic diagnostics.

Контактна інформація: Апікова Алла Євгенівна, аспірант кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки, пр-т Науки 14, Харків, Україна 61166. Телефон: 097-98-53-206, e-mail: apikova_84@mail.ru.

Стаття надійшла до редакції 08.06.2016 р.

ЮБІЛЕЇ

3 70-річчям

Колектив Харківської медичної академії післядипломної освіти та медична спільнота Харківщини вітає Гірку Віру Дмитрівну з ювілеєм. Гірка Віра Дмитрівна народилася в 1946 році. Закінчила Харківський медичний інститут у 1970 році. Гірка В.Д. з 1970 по 1980 рік працювала дільничним лікарем-педіатром, заступником головного лікаря з лікувальної роботи 13-ї дитячої поліклініки, завідуючою Фрунзенським районним відділом охорони здоров'я, а з 1989 по 1990 рік — заступником завідуючого міським відділом охорони здоров'я.

В 1990 році В.Д. Гірка обрана сесією Фрунзенської районної ради народних депутатів заступником голови Фрунзенського виконкому, де працювала до 2002 року. Всі роки вона займалася питаннями охорони здоров'я та безпосередньо приймала участь у розвитку Салтівського медичного комплексу. За цей час В.Д. Гірка 4 рази обиралася депутатом районної ради, закінчила аспірантуру і захистила дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата медичних наук. Вона є автором та співавтором ряду наукових праць, методичних рекомендацій.

Беручи активну участь у суспільному житті, була членом Президії Обласної спілки жінок Харківщини. З 2000 року вона — доцент кафедри педіатрії Харківської медичної академії післядипломної освіти, а з 2002 року — директор медичного коледжу. Гірка В.Д. доклала багато зусиль для його відкриття. І вперше на Слобожанщині отримала ліцензію на підготовку медичних сестер-бакалаврів.

Гірка В.Д. з 2000 року — «Відмінник освіти України», нагороджена грамотами МОЗ та МОН України, неодноразово нагороджувалася Почесними грамотами, Подяками міськвиконкому, Обласної держадміністрації. Від щирого серця вітаючи шановну Віру Дмитрівну, бажаємо їй многорічної плідної праці та творчого натхнення.

Редакція «Східноєвропейського журналу
внутрішньої та сімейної медицини»