

А. Ю. КОРМИЛИЦЫН, В. И. ПОЛЯКОВ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ДЫХАНИЯ

Рассматриваются особенности применения средств компьютерной обработки информации в медицине. Представлены состав системы мониторинга и принципы диагностирования легких. Выделяются термальные методы как наиболее перспективные.

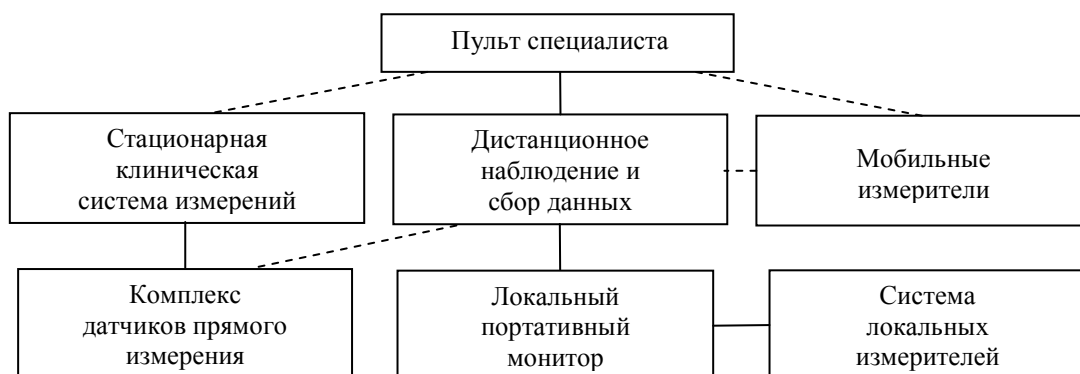
Ключевые слова: дистанционный мониторинг, диагностирование легких, спирометрия, параметры воздушного потока.

Введение. Современные средства компьютерной обработки информации активно используются в медицине. В настоящее время накоплен опыт обработки данных, автоматизации диагностики и существенно расширена электронная элементная база, что позволяет значительно повысить надежность и оперативность принятия решения (постановки диагноза).

Значительное внимание уделяется созданию систем дистанционного мониторинга на основе автономных портативных измерений, локальной предобработки и использования централизованных вычислительных средств под контролем специалиста.

Архитектура системы мониторинга. Комплекс средств мониторинга (см. рисунок) включает ряд устройств, выпускаемых фирмой ИНКАРТ (Санкт-Петербург). Такой комплекс может использоваться для контроля сердечной деятельности: при суточном мониторинге.

Подобным образом могут быть организованы наблюдения различных систем организма.



Процессор в комплексе средств мониторинга выполнен на основе микроконтроллера Cortex3m, позволяющего реализовать различные интерфейсы для поддержки периферии — USB, BlueTooth, универсальные цифровые порты. К ближайшей периферии относятся SD-память, звуковая карта, акселерометр, сенсорный экран; к дальней — 20-разрядный многоканальный АЦП и различные (до 20) датчики с аналоговыми выходами. Управление системами осуществляется в режиме реального времени, используются платформы Free RTOS или/и Android на уровне сбора и накопления данных

Измерение параметров дыхания. Одним из важных объектов анализа в медицинской диагностике является режим работы легких.

В клинической медицине стандартным способом оценки вентиляции легких является спирометрия [1], при этом измеряется объемная скорость воздушного потока. Датчики параметров воздушных потоков могут иметь разные физические принципы детектирования:

1) манометрический — напрямую измеряется давление воздушного потока при вдохе и выдохе;

2) электромагнитный — используются вихревые расходомеры, в которых жидкость, движущаяся в постоянном магнитном поле, создает ЭДС с частотой, прямо пропорциональной частоте вихреобразования;

3) ультразвуковой — вихри детектируются в нижней части потока. Из анализа амплитудно-модулированного ультразвукового сигнала определяется величина объемного расхода;

4) емкостной — регистрируется изменение емкости за счет деформации чувствительного элемента;

5) изгибных напряжений — пьезосенсор регистрирует совокупность тепловых и механических воздействий от вихревых потоков;

6) термальный — регистрируется динамика изменения температуры, т.е. вихревые колебания воздушного потока.

Большинство спирометрических приборов содержат датчики, в которых используются методы 1—5, они применяются как средства измерения при клинической аттестации, а также для проведения кратковременных медицинских проб. Однако эти приборы непригодны для длительного мониторинга состояния пациента.

К настоящему времени для возможности использования термальных методов хорошо изучены особенности возникновения вихревых потоков в дыхании и их влияние на измеряемые параметры, связанные с теплообменом.

Термальные методы диагностирования. Качество систем автоматической спирометрии определяется характеристиками датчиков параметров вихревых потоков, алгоритмами анализа сигналов и диагностики, производительностью и объемом памяти компьютеров.

В термальных методах измерений используются теплофизические расчеты [2]. В работе [1] показано, что потоки в верхних путях легких являются турбулентными (вихревыми). Свойства турбулентности для определения параметров потоков исследуются как прямыми клиническими методами измерений, так и оперативными, косвенными, в частности, с помощью акустических приборов.

Аускультация (анализ акустических явлений) легких производится в определенных точках на поверхности грудной клетки. При дыхании выявляются везикулярные и бронхиальные шумы.

Традиционно нормальные и патологические шумы представляют в виде диаграмм (спектрограмм). Нормальные звуки генерируются турбулентным потоком в воздушных путях, громкость (энергия колебаний) пропорциональна скорости потока. Аускультация отражает не только процесс генерации звука, но и процессы резонанса и поглощения между воздушными путями и датчиком звуков, что используется для диагностики по изменению спектра сигнала. Зарегистрированные акустические явления непосредственно в воздушном потоке отражают информацию о спектре и энергии процесса генерации звука. Спектр определяется ритмом работы сердца, а энергия — теплообменом воздушного потока.

Параметры турбулентных потоков, определяющие энергообменные процессы при дыхании или процессы массообмена, являются важнейшими показателями изменений состояния сердечно-сосудистой системы. С их помощью оцениваются отклонения характеристик процессов массо- и теплообмена от среднестатистических значений, принимаемых в качестве нормы в клинических исследованиях.

Внешнему мониторингу доступны интегральные массоэнергетические параметры воздушных потоков:

- температура воздушного потока на вдохе и выдохе;
- объемный (массовый) расход, или скорость воздушного потока;
- выделяемая в выдыхаемом потоке энергия, или мощность теплового потока.

Параметры связаны между собой следующим образом [2]: мощность воздушного потока P рассчитывается на основе измерения его тепловых параметров и складывается из мощ-

ности, определяемой теплосодержанием P_t и кинетической энергией потока P_k . Теплосодержание потока пропорционально объемному расходу, а кинетическая энергия пропорциональна степени объемного расхода.

Поскольку $P_t > P_k$, амплитуда пульсаций, связанная с воздействием на датчик импульсов отдельных вихрей, мала по сравнению с общей амплитудой сигнала. Для выделения этих пульсаций необходимо использовать схемотехнические и алгоритмические средства определения параметров вихревых компонентов сигнала.

Нами была рассмотрена теплофизическая модель энергетического обмена воздушных потоков вдоха и выдоха, в которой использованы свойства турбулентности [3]. На основе измерений объемного расхода воздуха, скорости потока и термодинамической температуры были вычислены важные для контроля параметры потоков в канале дыхания. Показано, что на основе этой модели могут быть построены датчики измерения и методы расчета параметров потоков, характеризующих объем легких и скорость воздушных потоков.

Заключение. Результаты исследований использованы при разработке датчика параметров вихревых потоков дыхания и алгоритмов расчета характеристик в портативных приборах функциональной диагностики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 12-07-00376-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уэст Д. Физиология дыхания. Основы. М.: Мир, 1988. 200 с.
2. Дульнев Г. Н., Парфенов В. Г., Сигалов А. В. Методы расчета теплового режима приборов. М.: Радио и связь, 1990. 312 с.
3. Кормилицын А. Ю., Ханков С. И., Скорубский В. И. Измерение параметров дыхания датчиком воздушных потоков // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 3. С. 122—129.

Сведения об авторах

- Александр Юрьевич Кормилицын** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники; E-mail: Alex_kkk@incart.ru
- Владимир Иванович Поляков** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники; E-mail: v_i_polyakov@mail.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
23.12.13 г.