

О.Н ВЕЛИЧКО, канд. техн. наук, *С.Н. ЛИННИК* (г. Харьков)

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕГКИХ

У статті розглянута можливість комплексного використання методів спірометрії, капнографії, реографії легенів та полісегментарної трансстрахсальної електроплезмографії з метою вивчення взаємозв'язку між показниками альвеолярної вентиляції та легеневого кровотока. Запропонована технічна реалізація системи. Наведені попередні результати іспитів, що підтверджують високу інформативність та можливість одержання нових кількісних медико-біологічних показників зовнішнього подиху.

In a paper the possibility of complex usage of methods of a spirometry, capnometry, rheography mild and polysegment electroplethysmography is considered with the purpose of learning correlation between metrics by alveolar cooling and pulmonary bleeding. The technical implementation of the system offered. The preliminary results of trials confirming its high selfdescriptiveness and possibility of obtaining new quantitative biomedical metrics of external respiration are reduced.

Постановка проблеми. Болезни легких являются одной из самых распространенных групп заболеваний и занимают третье место среди причин смертности. Это во многом обусловлено поздней диагностикой этой патологии – выраженные симптомы заболевания проявляются, когда легочная функция уже существенно нарушена. Поэтому ранняя диагностика функциональных респираторных нарушений при заболеваниях легких является проблемой чрезвычайно актуальной [1].

Постоянно происходящая вентиляция легких обеспечивает поступление наружного воздуха в легкие и значительной части его в альвеолы, удаление вместо него смеси газов, состоящей из альвеолярного воздуха и наружного, удаляемого в начале выдоха из мертвого пространства, которое наружный воздух заполняет в конце вдоха. Так как альвеолярный воздух содержит меньше кислорода и больше углекислого газа, чем наружный, то вентиляция легких сводится к доставке в альвеолы кислорода и удалению из них углекислого газа. Для обмена газов в альвеолах решающее значение имеет соотношение альвеолярной вентиляции V кровотоку Q через оплетающие их легочные капилляры (V/Q). Это отношение для легких в целом в обычных условиях спокойного дыхания для здорового человека близко к 0,8 – 1,0, так как минутный объем альвеолярной вентиляции составляет 4 – 6 л/мин, а объемная скорость кровотока через легочные капилляры – 5 – 6 л/мин [2]. Постоянство отношений вентиляции к кровотоку для разных участков легких имеет особое значение. В тех группах альвеол, в которых вентиляция отстает от кровотока, разность между парциальными давлениями O_2 и CO_2 в альвеолярном и во вдыхаемом воздухе возрастает, а в тех альвеолах, в которых вентиляция увеличена по отношению к кровотоку, парциальные давления O_2 и CO_2 будут приближаться к таковым

во вдыхаемом воздухе. Таким образом, при наличии выраженной неравномерности V/Q возникают существенные различия в составе альвеолярного воздуха в разных группах альвеол и в газовом составе оттекающей от них крови.

Методы, применяемые в клинической медицинской практике в основном рассматривают в отдельности проблемы измерения воздушных объемов и нарушение параметры системы малого круга кровообращения, что приводит к постановке неправильного предварительного диагноза. Нами предлагается производить одновременный анализ дыхательной системы человека и исследования кровеносной системы, что позволяет выявить неравномерность вентиляционно-перфузионных отношений и, следовательно, повысить достоверность постановки диагноза.

Постановка задачи. Создание на базе имеющейся системы мониторинга дыхания, комплексной системы исследования легких, с одновременной регистрацией параметров дыхательной и кровеносной системы человека.

Анализ литературы. Основные объемы и емкости легких, а так же их производные, можно определить спирометрическим методом исследования [3]. Данное направление подробно изложено в предыдущих исследованиях [4]. Наличие неравномерности вентиляции, определенное по капнометрической кривой, дает интегральный показатель, по которому невозможно определить региональные неравномерности различных участков легких. Так же обобщенные показатели газового состава дают биохимические и оксиметрические методы исследования артериальной крови [4, 5]. Прямое измерение кровенаполнения различных участков легких методом транстрахеальной полисегментарной электроплетизмографии является очень сложным, так как требует интубационного наркоза и специальной аппаратуры [6].

Наиболее приемлемым методом оценки неравномерности легочного кровотока является метод реографии легких и их сегментов. Реография легких представляет собой метод изучения колебаний кровенаполнения сосудов малого круга кровообращения. Эти изменения обусловлены кровообращением в полостях сердца, аорты, легочных артерий. Особенностью реографии легких является то, что, кроме пульсовых колебаний кровенаполнения легочной артерии и других сосудов легкого, она отражает еще и изменения легких в зависимости от вдоха и выдоха. Характер взаимосвязи изучаемых показателей (кровоток и вентиляция) определяется следующими уравнениями:

$$b = 1 - 342\gamma_0 \sqrt{\frac{\gamma_{kcp}}{\gamma_k}}, \quad (1)$$

$$\Delta V = \frac{(2+b)\Delta\gamma}{0,9(\gamma_k - \gamma_r) + 3\gamma_l \frac{b}{1-b}}, \quad (2)$$

где b – количество воздуха, приходящегося на единицу объема органа; γ_0 – удельное сопротивление легкого; $\Delta\gamma$ – электрический эквивалент пульсового приращения объема крови; γ_k – удельная электропроводность крови; ΔV – приращение объема крови за один сердечный цикл; γ_r – удельная электропроводность ткани легкого; γ_l – суммарная удельная электропроводность легкого в момент диастолы [7].

В формулах (1) и (2) не учтен ряд существенных факторов: неодинаковое распределение в различных частях тела массы мышц, костей и жировой ткани, обладающих различной проводимостью. Кроме того, изменение электропроводности ткани зависит не только от объема наполняющей ее крови, но и от ее химического состава, удельного сопротивления, от изменения скорости кровотока и т.д. Также необходимо учитывать факторы изменения объема легких при вдохе-выдохе, перемещение соседних органов в момент регистрации реограммы:

$$\Delta R_g S = \rho_{вд} l_{вд} - \rho_{выд} l_{выд}, \quad (3)$$

где ΔR_g – изменение электрического сопротивления зоны грудной клетки при дыхании; S – площадь электродов; $\rho_{вд}$, $l_{вд}$, $\rho_{выд}$ и $l_{выд}$ – соответственно удельная электропроводимость грудной клетки и расстояние между электродами на вдохе и выдохе.

Сложность интерпретации данных реографических исследований легких человека значительно упрощается, если одновременно с ними производится анализ спирометрических и капнометрических кривых, что позволяет более детально оценить неравномерность отношения вентиляции кровотоку, а также уменьшить погрешности определения основных показателей, как дыхания, так и системы легочного кровообращения.

Система комплексного исследования легких. Система комплексного исследования легких построена на основе разработанной нами ранее системы мониторинга дыхания [8]. При проектировании данной системы были решены вопросы технического согласования средств измерения, создано универсальное программное обеспечение и удобный пользовательский интерфейс.

В системе комплексного исследования легких производится одновременная регистрация и обработка данных спирометрических (СГ), капнометрических (КГ) и реографических исследований различных участков легких (РГЛ), амплитудно-временные кривые которых, в относительных единицах, представлены на рис. 1.

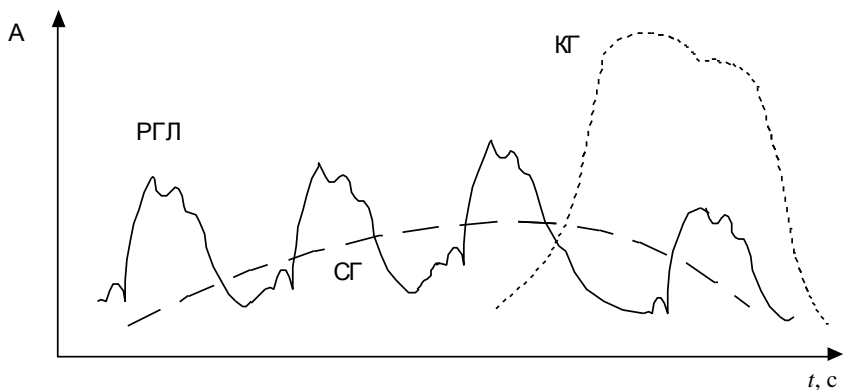


Рис.1.

Алгоритм обработки сигналов и вывод результатов исследования состоит из трех этапов. Первоначально производится анализ амплитудно-временных показатели сигналов и сравнение их с должными величинами. Процесс обработки данных включает в себя корректировку первоначальных значений, в зависимости от изменения информационных величин не связанных с изменением первоначальных сигналов, например, амплитудные показатели реограммы легкого зависят от фазы дыхательного цикла. Анализ производится по качественным изменениям формы кривых, а также их количественным показателями. Отклонение количественных показателей от нормы осуществляется с учетом антропометрических параметров исследуемого пациента.

На втором этапе, производится комплексный анализ показателей исследования. На данном этапе амплитудные показатели переводятся в относительные единицы, и рассчитывается корреляционная взаимосвязь между ними. В качестве информационного показателя нами был выбран коэффициент соответствия K_c , который зависит от коэффициента кровенаполнения сосудов K_k , определяемого по данным реографических исследований, и коэффициента количественной и качественной вентиляции легких K_v , рассчитываемого по данным спирометрических и капнометрических исследований:

$$K_c = K_v K_k. \quad (4)$$

На третьем этапе, на основании полученной информации, производится постановка диагноза.

Преобразование информационных сигналов системы комплексного исследования легких осуществляется непосредственно микроконтроллером и программными средствами ПК [8].

Регистрация реограмм легкого производилась с помощью разработанного нами аналогового блока, структурная схема которого приведена на рис. 2 .

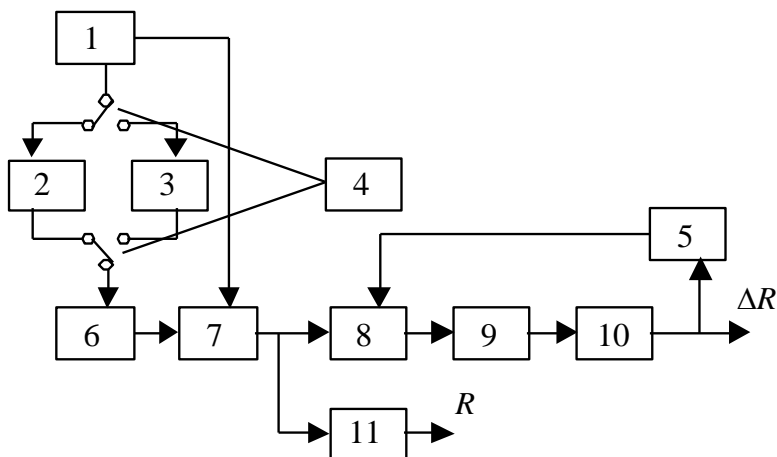


Рис. 2.

1 – генератор зондирующего тока высокой частоты; 2 – пациент; 3 – калибровочное устройство; 4 – контакты переключения режимов работы; 5 – схема автоматического успокоения; 6 – входное устройство; 7 – синхронный демодулятор; 8, 10 – усилители низкой частоты; 9 – фильтр нижних частот; 11 – усилитель постоянного тока.

Конструктивно устройство аналогового блока выполнено на единой печатной плате, представляющей собой функционально законченный блок, имеющий входной и выходной разъемы для ввода и вывода информации, подачи питающих напряжений. При проектировании и изготовлении реографического блока использовалась современная элементная база с применением оригинальных схмотехнических решений.

При регистрации реограммы легких, а также их сегментов, использовалась частота тока 50 кГц и малая плотности тока, не превышающая 1 мА на 1 см

площади электрода, что практически полностью устраняет искажающий результаты исследования эффект поляризации.

Подавление помех и сетевых наводок успешно осуществляет активный фильтр нижних частот, с коэффициентом передачи равным 2 и частотой среза 30 Гц на уровне 0,9.

Схема автоматического успокоения не дает на выходе реографического блока напряжения более 5 В, что необходимо для стабильной работы микроконтроллера.

Для уменьшения переходного сопротивления на границе электрод-ткань применяли прокладки, смоченные 20% раствором NaCl. Полученные в результате исследования кривые изменения сопротивления по амплитудно-временным показателям реограмм совпадают с должными справочными значениями [9].

Выводы. Система комплексного исследования легких позволяет измерять стандартные спирометрические, капнографические и реографические информационные характеристики, показатели и параметры, а также осуществляет корреляционный анализ между ними. Получен критерий оценки соответствия вентиляции легочному кровотоку.

Предложенная методика и техническая реализация системы комплексного исследования легких позволит получать более полную информацию о функциональных способностях легких. Методические приемы обработки информации необходимо уточнить, после проведения статистических испытаний системы.

Список литературы: 1. *Чучалин А.Г.* Актуальные вопросы диагноза в пульмонологии // Терапевтический архив. – 2001. – № 8. – С. 33–36. 2. *Черниговский В.Н.* Физиология дыхания. "Руководство по физиологии". – Л.: Наука, 1973. – 352 с. 3. *Шмидт Р., Тевс Г.* Физиология человека. – М.: "Мир", 1996. – 540 с. 4. *Линник С.Н.* Прибор для измерения показателей дыхания // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2001. – №4. – С. 142–145. 5. *Шурыгин И. А.* Мониторинг дыхания. – СПб.: Невский диалект, 2000. – 328 с. 6. *Полищук В.И., Терехова Л.Г.* Техника и методика реографии и реоплетизмографии. – М.: Медицина, 1983. – 176 с. 7. *Шершнев В.Г.* Клиническая реография. – М.: Медицина, 1985. – 318 с. 8. *Величко О.Н., Линник С.Н.* Оптимизация системы обработки и отображения информации при мониторинге дыхания // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2003. – №19. – С. 20–25. 9. *Межеричкий С.Г.* Разработка системы анализа реографических сигналов // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. – Харьков: НТУ «ХПИ», 1997. – Ч. 5. – С. 329–331.

Поступила в редакцию 25.03.04