

Оптико-электронное устройство для диагностики функциональных нарушений пищевода

Аннотация

Представлен оригинальный способ диагностики перистальтической функции пищевода с использованием оптико-электронного аппарата, функционирующего по принципу оптической локации. Описаны схема работы, методика, и проведена оценка эффективности применения оптико-электронного аппарата для диагностики функциональных нарушений пищевода.

Раннее выявление функциональных нарушений перистальтики пищевода позволяет снизить количество осложнений и неудовлетворительных результатов лечения у больных как терапевтического, так и хирургического профиля с различной патологией. По проблеме исследования перистальтики пищевода в литературе приводится мало сведений, однако необходимость ранней диагностики и своевременного лечения функциональных заболеваний создает предпосылки для внедрения в клиническую практику рассматриваемого в данной статье метода с использованием оптико-электронной системы.

В медицинской технике для регистрации функциональных нарушений пищевода используется ряд методов диагностики, способных регистрировать перистальтическую функцию органа: баллонокимографический, рентгенологический, эндоскопический, ультразвуковой и т. д. Правильный анализ полученных результатов в данных методах достигается только при комплексной оценке возможностей и пределов каждого метода. В большинстве своем применяемые методики не дают однозначной информации о динамической работе исследуемого органа. Более того, данные методы диагностики характеризуются недостаточной степенью информативности и неоднозначностью выводов, а также ограниченностью их использования во времени в связи с опасностью лучевого поражения [1]-[4].

Для повышения эффективности диагностического исследования необходима аппаратура с более высоким уровнем метрологических характеристик, способная регистрировать перистальтику, устанавливая точный характер заболевания.

Современные технологии с использованием оптической электроники позволяют на высоком уровне решать проблему регистрации функциональных нарушений органов и разрабатывать методы, на основании которых можно создавать высокоэффективные системы исследования и анализа данных.

Одним из таких методов диагностики функциональных нарушений является оптико-электронный метод. В основе данного метода лежит зондирование с применением инфракрасного (ИК) излучения. Метод позволяет: регистрировать микроколебания произвольного сегмента исследуемого органа; графически иллюстрировать моторную функцию на всем протяжении исследуемого органа с последующим сопоставительным анализом характеристик диаграмм; производить выбор времени и длительность диагностики [5].

Материалы и методы

Основным принципом оптического метода является регистрация отражательной способности биологической ткани при ее взаимодействии с излучением. При воздействии излучения на биологическую ткань происходит сложный процесс в виде отражения, поглощения и пропускания излучения. Исходя из этого определены коэффициенты воздействия и выявлен оптимальный диапазон длин волн, при котором наблюдается максимальное преобладание коэффициента отражения над коэффициентами поглощения и пропускания биологических тканей (рис. 1), находящихся в области ближнего ИК-спектра (900...1200 нм). Отсюда выбран необходимый тип светодиода в конструкции оптического зонда (рис. 2). Построенные зависимости дают возможность повысить чувствительность и точность системы измерения в целом.

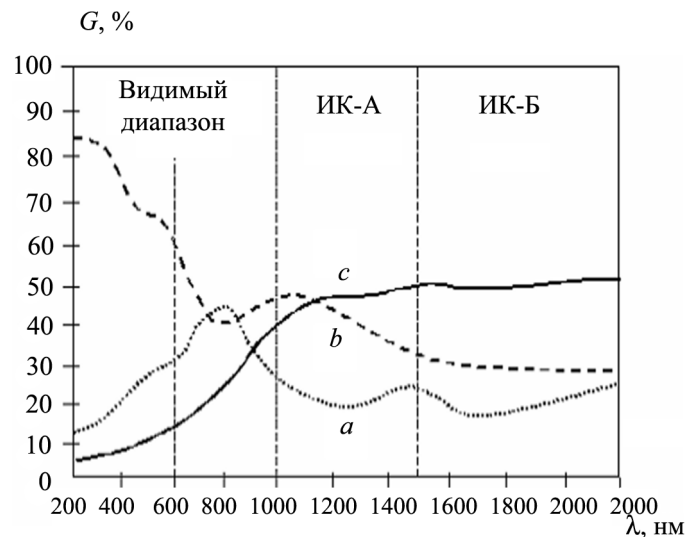


Рис. 1. Зависимости отношений $G = a / L, b / L, c / L$ коэффициентов поглощения (кривая *a*), отражения (кривая *b*) и проникновения (кривая *c*) к суммарному *L* от длин волн в различных диапазонах



Рис. 2. Оптико-диагностический зонд

Оптико-электронный зонд (рис. 2) состоит из прозрачной силиконовой трубки медицинского назначения с внешним диаметром 0,6 см и общей длиной 140 см, при этом длина рабочей части зонда составляет около 30 см (так как длина пищевода у взрослого человека составляет от 26 до 30 см). Каждая пара представляет собой систему, состоящую из двух светодиодов (типа АЛ-107Б), работающих в диапазоне 960 нм; один из светодиодов является источником, а другой – приемником ИК-излучения. При этом между светодиодами располагается сферический элемент с матовым покрытием, необходимый для

равномерного рассеивания излучения, падающего от источника. Количество оптоэлектронных пар в зонде напрямую зависит от числа измеряемых информационных каналов диагностического комплекса.

Принцип работы оптико-электронной системы регистрации заключается в следующем: зонд вводят в исследуемый орган, световой поток, излучаемый инфракрасным источником, отражается от стенок. Перистальтическое сокращение стенок вызывает изменение интенсивности отраженного светового потока. Этот поток преобразуется с помощью приемника инфракрасного излучения в электрический сигнал и передается в электронный блок. Максимальный предел восприимчивости оптического зонда составляет около 45 мм. Этого вполне достаточно для регистрации перистальтических движений максимальной фазы даже в проктологии.

При рабочей функции пищевода возникающая перистальтическая волна уменьшает внутренний диаметр органа на 60...70 % в отношении к положению покоя. Исходя из этого оптико-электронный зонд при регистрации перистальтической волны располагается в органе центрированно, а не свободно.

Методика позволяет регистрировать колебания небольших отдельных сегментов, причем реализована высокая степень помехозащищенности. Так как источник и приемник в оптическом устройстве не связаны электрически, связь между ними осуществляется посредством светового излучения. Графическое определение перистальтики пищевода дает целостную картину функциональности органа.

Блок регистрации данных оптико-электронного диагностического комплекса предназначен для фильтрации и усиления полезного сигнала с выхода оптического зонда (рис. 3). В электронном блоке сигнал подвергается обработке, в частности усилению, согласованию и фильтрации. Далее преобразование осуществляется с помощью схемы выборки и хранения, мультиплексора и аналого-цифрового преобразователя, которые преобразуют исходные данные от измерительных датчиков в выходной сигнал, пригодный для цифровой обработки. Поскольку информация, поступающая на вход системы, преобразуется в цифровую форму и в дальнейшем подвергается обработке, предусмотрен микроконтроллер, управляющий работой отдельных узлов системы и всеми процессами сбора, хранения и обработки данных. Далее, через разъем USB или RS-232, информация поступает на компьютер и благодаря соответствующему программному обеспечению отображается в удобной для пользователя форме.



Рис. 3. Блок обработки и передачи данных

Исходя из полученных диаграмм, анализируем регистрируемый сигнал. По изменению величины амплитуды, частоте и форме сигнала, показанного на мониторе, дается оценка перистальтической работы пищевода на конкретном участке в настоящий момент времени.

Результаты

В качестве примера представим диаграммы пациента, не имеющего функциональных нарушений пищевода (рис. 4а), и пациента, страдающего заболеванием ахалазии кардии (рис. 4б).

Регистрация сигнала с каждой оптоэлектронной пары (ОП) происходит с временным сдвигом по оси X и степенью сжатия стенок пищевода по оси Y. В ответ на глоток на уровне 1-й ОП четко выявляется акт глотания в виде сжатия стенок пищевода, который выделен графически амплитудным всплеском. На уровне 2-й ОП наблюдается акт расслабления стенок пищевода в виде их расширения. На 3-й и 4-й ОП наблюдаются пассивные сокращения стенок пищевода, соответствующие его плавной перистальтической работе на данном участке. 5-я ОП находится на уровне нижнего сфинктера, при нормальной перистальтической работе наблюдается функционально правильное сжатие стенок пищевода. В случае с заболеванием ахалазии кардии нижний сфинктер пищевода не работает в нужном режиме раскрытия и имеет спазматический характер при закрытии.

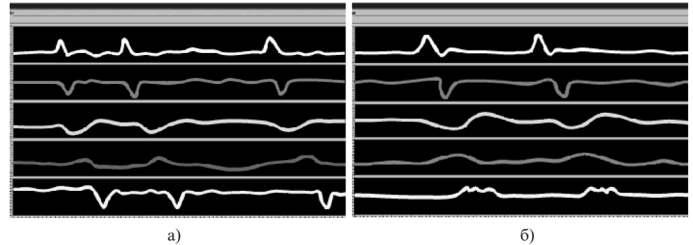


Рис. 4. Диаграмма перистальтической работы пищевода: а) при диагностике пациента, не имеющего патологий; б) при диагностике пациента с функциональным заболеванием ахалазии кардии

Благодаря регистрации оптико-электронным аппаратом, четко выявляется перистальтическая работа пищевода одновременно на всем его протяжении. Это может быть эффективным дополнительным инструментом для регистрации таких патологий, как кардиоспазм и ахалазия кардии, кардиальная грыжа пищеводного отверстия диафрагмы, рефлюкс-эзофагит и др.

Заключение

Предложены оптико-электронный аппарат для зондирования пищевода и диагностический метод регистрации данных перистальтической функции пищевода. Принцип работы аппарата основан на оптико-электронной регистрации динамических изменений просвета путей пищевода и последующем построении диаграмм состояния. Анализ диаграмм перистальтики пищевода позволяет качественно диагностировать наличие функциональных нарушений локальных областей исследуемого органа и выявлять возможные структурные изменения в тканях стенок пищевода на ранней стадии заболевания.

Список литературы:

1. Окорочков А.Н. Диагностика болезней внутренних органов. В 2 т. Т. 1. – М.: Медицинская литература, 2002. 560 с.
2. Сакс Ф.Ф., Байтингер В.Ф., Медведев М.А., Рыжов А.И. Функциональная морфология пищевода. – М., 1987. 172 с.
3. Тамулевичюте Д.И., Витенас А.М. Болезни пищевода и кардии. – М., 1986. 264 с.
4. Тучин В.В. Оптическая биомедицинская диагностика. В 2 т. Т. 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 364 с.
5. Гюнтер С.В., Вотяков В.Ф., Дамбаев Г.Ц., Жуков В.К. Способ исследования моторной функции органов желудочно-кишечного тракта и устройство для его осуществления / Патент RU № 2307583. 4 с.

Сергей Викторович Гюнтер,
канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,
Институт медицинского материаловедения
и металлов с памятью формы,
Георгий Цыренович Дамбаев,
чл.-корр. РАМН,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра гастроэнтерологии,
Сибирский государственный медицинский университет,
г. Томск, e-mail: guntersv@inbox.ru