

Экспертная система диагностики ожирения и функционального тонуса организма «БодиСоник»

А. Г. Кириллов,* А. М. Рейман

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46
(Статья поступила 12.07.2017; Подписана в печать 18.09.2017)

В работе представлены результаты разработки специализированного ультразвукового прибора для поиска и измерения глубины залегания сильно отражающих структур в мягких тканях (границ раздела жировых и мышечных слоев тела) и программного обеспечения, формирующего экспертную систему для оценки степени ожирения и функционального тонуса организма.

PACS: 43.35.Yb, 43.80.Ev, 43.80.Vj.

УДК: 53.082.4+681.2.083.

Ключевые слова: плоско-слоистая среда, ультразвуковая эхоскопия, толщинометрия, обработка сигналов, выявление трендов.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия во всем мире наблюдается значительное увеличение доли лиц, страдающих избыточным весом и различными стадиями ожирения, как среди взрослых, так и детей. Это требует проведения количественной оценки телосложения человека в клинических условиях, например для правильной постановки диагноза врачами-эндокринологами. Традиционные методики (оценивание индекса массы тела, оценка средней плотности тела взвешиванием с погружением и т.п.) дают не всегда приемлемые оценки. Для более точной оценки телосложения используется индекс содержания жира — Body Fat Index (BFI) [1, 2], который требует знания толщины жирового слоя в некоторых характерных точках тела и использует корреляции между этими значениями и общим жиром содержанием [3–5]. В ряде случаев требуется контролировать толщину жировой прослойки в отдельных областях тела (пресс, ягодицы, бедра и т.п.) для эффективной коррекции фигуры. Простые методы оценки локальной толщины жирового слоя (двойной складочный тест, импедансометрия, ИК-толщинометрия) зачастую дают неверные результаты. Очевидно, что для измерений также можно использовать практически все технологии неинвазивной томографии крупномасштабных органов, от двумерного ультразвука до рентгеновской и магнитно-резонансной томографии. Эти методы дают точные результаты, однако проведение таких измерений требует применения весьма дорогостоящей и сложной аппаратуры, а также работы квалифицированного обслуживающего персонала.

Сравнение различных методов показывает, что наиболее простым и безопасным способом измерений является ультразвуковая эхолокация [6], однако стандартные ультразвуковые диагностические локаторы не приспособлены для измерений в подкожных слоях мягких тканей.

«БодиСоник» — портативный прибор, позволяющий методом линейной эхолокации определять толщину жирового слоя в различных точках человеческого тела [7, 8]. Знание величины толщины жира в различных точках тела позволяет строить изолинии жировых отложений (картировать тело) и контролировать их изменения в процессе физических упражнений (спорт, фитнес, медицинская реабилитация). К прибору прилагается программное обеспечение, с помощью которого на основе экспериментальных данных пользователь может рассчитывать различные индексы веса, определять расход калорий, выбирать рекомендованные физические нагрузки. При долговременных измерениях программа может указать на предрасположенность к определенным заболеваниям и выдать рекомендации для применения лечебной диеты. Также данный прибор может использоваться для контроля результатов при хирургическом уменьшении жировой прослойки — операции липосакции.

Блок-схема портативного прибора, подключаемого к персональному компьютеру через интерфейс USB, представлена на рис. 1. Микроконтроллер по команде от персонального компьютера (ПК) запускает одиночный цикл эхолокации, запоминает оцифрованный АЦП эхосигнал и передает его в ПК. Эхограмма может отображаться на экране ПК, накапливаться и обрабатываться. Для того, чтобы в накоплении данных участвовали эхографические сигналы только от данного участка тканей, эти операции производятся лишь при нажатой кнопке «Работа». Специализированная программа ПК выполняет поиск сигналов, соответствующих границам слоев «кожа-жир», «жир-мышца» и «мышца-кость» и измеряет толщины слоев, используя номинальные значения скоростей звука в этих средах.

Базовая частота излучения 2.5 МГц была определена опытным путем. При увеличении частоты можно получить более высокое продольное разрешение прибора, но при этом за счет высокого затухания возникают проблемы при локации тучных людей (толщина жирового слоя более 35 мм), а также мешающие отражения от кожного покрова. При понижении частоты за счет уменьшения затухания можно проводить из-

*E-mail: kir@ufp.appl.sci-nnov.ru

мерения на тучных пациентах, но при этом может не выявляться жировой слой у людей средней комплекции. Эксперименты на частоте 2.5 МГц показали наилучшие результаты в широком диапазоне значений жирового слоя. Для локации детей и подростков, а также лиц умеренной комплекции предусмотрен сменный ультразвуковой преобразователь на 5 МГц. Конструкция преобразователя показана на рис. 2.

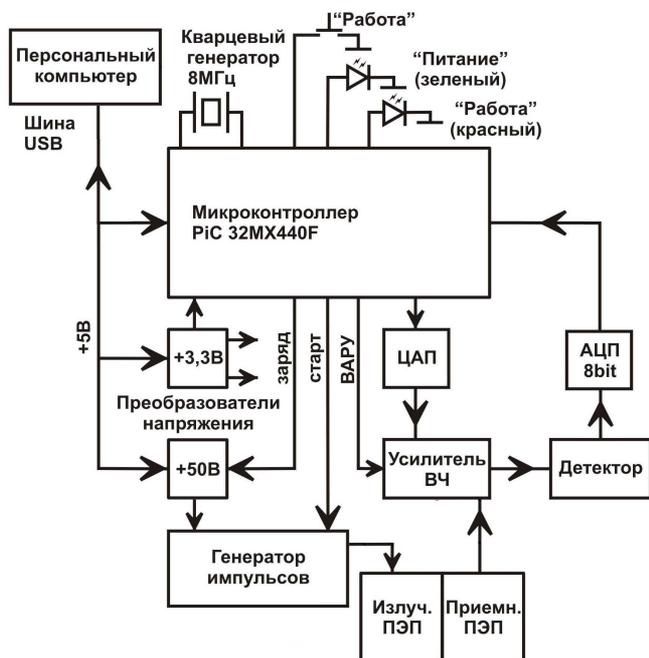


Рис. 1: Блок-схема ультразвукового локатора с управлением от ПК

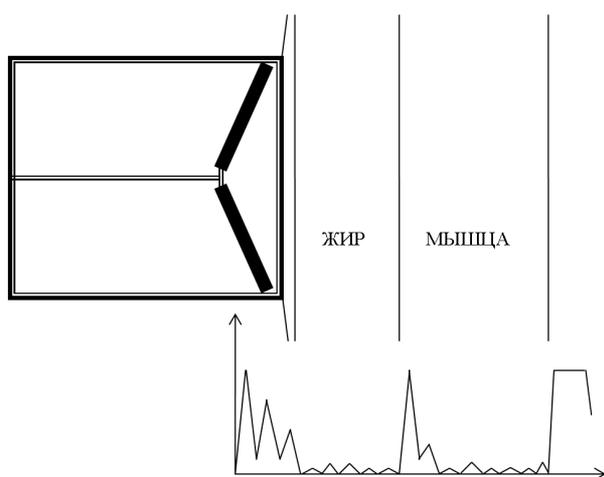


Рис. 2: Конструкция ультразвукового преобразователя и основные сигналы, отраженные от слоев

Был также разработан автономный вариант прибора, с электропитанием от аккумулятора. Уменьшение частоты следования зондирующих импульсов позволя-

ет существенно снизить требования к емкости аккумулятора. Встроенный в прибор ЖК индикатор позволяет выводить как осциллограмму отраженных эхо-сигналов, так и цифровое значение толщины жировой прослойки в точке измерения. Однако мощность управляющего микропроцессора не позволила использовать все возможности экспертной системы, заложенные в программном обеспечении. Поэтому в настоящее время ведется разработка автономного прибора с беспроводным каналом передачи информации, позволяющим использовать вычислительные возможности современных смартфонов и планшетов.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Прилагаемое к прибору программное обеспечение разработано на основе многочисленных клинических данных и предлагает пользователю максимально широкие возможности в оценке функционального состояния на основе измерений жировой прослойки в разных частях тела. Различные показатели рассчитываются не только по результатам ультразвуковых измерений, но также учитываются дополнительные сведения (возраст, пол, антропометрические данные), геометрические размеры тела (окружности груди, бедер, талии и т.п.), «складочный» тест с помощью кронциркуля, входящего в комплект прибора.

Программное обеспечение позволяет проводить измерения по заранее выбранному алгоритму в различных точках тела, которые индицируются на 3D модели тела, с различным числом измерений по выбору пользователя для получения более точных величин; отображать эхограммы отраженных сигналов; автоматически рассчитывать основные параметры телосложения как по результатам акустической локации, так и по другим замерам, определять текущее состояние и выдавать рекомендации для корректировки нарушений.

Рассчитываются следующие параметры: индекс массы тела; индекс содержания жира; базовый метаболический индекс; структура тела (масса, % жира, масса без жира и т.п.); степень ожирения (норма, избыточный вес, ожирение определенной степени); оценочный прогноз риска заболеваний (кардиология, инсульт, диабет); необходимое количество калорий при различных уровнях физической активности; рекомендации по образу жизни и терапии при различных уровнях ожирения.

Для анализа долговременных исследований результаты представляются в виде графиков — трендов различных параметров (толщина жирового слоя, % жира, масса тела).

Для оценки мышечного тонуса предлагается функция механического ультразвукового сканирования участка тела, когда прибор перемещается по выбранному участку синхронно с движением развертки (режим «псевдо-В»), подобная опция очень удобна при оценке результатов силовых тренировок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день прибор «БодиСоник» в варианте компьютерной USB приставки полностью отработан и подготовлен к клиническим исследованиям, техническим испытаниям и сертификации. Были проведены сравнительные исследования точности определения основных параметров приборов путем сравнения с ре-

зультатами компьютерной томографии характерных точек зондирования. Достигнутая точность (отклонение от данных КТ измерений) составила около 2%.

Прибор и экспертная система могут найти применение в клинической и спортивной медицине, а также использоваться для самоконтроля при снижении веса и физических нагрузках.

-
- [1] *Siri W.E.* In J. Brozek A. Hanschel (Eds.). Techniques for measuring body composition. Washington, StateDC: National Academy of Science, 1961. P. 223.
- [2] *Brozek J., Grande F., Anderson J.T., Keys A.* Annals of the New York Academy of Sciences. 1963. **110**. P. 113.
- [3] *Durnin J.V.G.A., Womersley J.* British Journal of Nutrition. 1974. **32**. P. 77.
- [4] *Jackson A.S., Pollock M.L.* British Journal of Nutrition. 1978. **40**. P. 497.
- [5] *Jackson A.S., Pollock M.L., Ward A.* Medicine and Science in Sports and Exercise. 1980. **12**. P. 175.
- [6] *Бэмбер Дж., Дикинсон Р., Эккерсли Р., тер Хаар Г., Хилл К., Лиман С., Нассири Д., Сарвазян А.П.* Ультразвук в медицине. Физические основы применения. М.: Физматлит, 2008.
- [7] *Беляев Р.В., Кириллов А.Г., Рейман А.М.* Патент РФ № 135902. Оpubл.: 27.12.2013, официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели» № 36-2013, М., ФИПС.
- [8] *Беляев Р.В., Кириллов А.Г., Рейман А.М., Рейман Г.А.* XVII научная конференция по радиофизике. ННГУ, Нижний Новгород, 2013. С. 242.

Expert system for diagnostics of obesity and functional tone of an organism «BodySonic»

A. G. Kirillov^a, A. M. Reyman

Federal Research Center Institute of Applied Physics of RAS. Nizhny Novgorod 603950, Russia

E-mail: ^akir@uifp.appl.sci-nnov.ru

The results have been presented describing the development of specialized ultrasonic device intended for search and measurements of occurrence depth of strongly reflecting structures in soft tissues (boundaries separating fat and muscle body layers) as well as software forming the expert system for estimation of obesity rate and functional tone of an organism.

PACS: 43.35.Yb, 43.80.Ev, 43.80.Vj

Keywords: flat-layered medium, ultrasonic echoscopy, thickness measurements, signal processing, trend detection.

Received 12 July 2017.

Сведения об авторах

1. Кириллов Алексей Геннадьевич — зав. сектором ИПФ РАН; тел.: (831) 416-49-76, e-mail: kir@uifp.appl.sci-nnov.ru.
 2. Рейман Александр Михайлович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник, ст. науч. сотрудник ИПФ РАН; тел.: (831) 416-49-76, e-mail: rey@appl.sci-nnov.ru.
-