
ЭЛЕКТРОННЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

УДК 53.083.92

Ю. А. БАЛОШИН, А. А. СОРОКИН, А. В. АРСЕНЬЕВ,
М. Г. ДУДИН, А. Н. ВОЛЧЕНКО

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ТКАНЕЙ И ОРГАНОВ БИООБЪЕКТОВ

Для исследования функциональной активности тканей и органов биообъектов предлагается неинвазивный метод ближнепольного высокочастотного зондирования. Рассмотрены физико-биологические основы метода и представлен измерительный комплекс для его реализации в клинических условиях. В качестве иллюстрации возможностей метода приведены результаты определения функциональной активности ростковых зон костей у подростков и детей.

Ключевые слова: ближнепольное ВЧ-зондирование, ростковые зоны, функциональная активность клеток и тканей.

Введение. Хорошо известно, что возникновение и развитие многих заболеваний опорно-двигательного аппарата у детей и подростков связано с нарушением основных процессов регуляции жизнедеятельности организма. Эти процессы находятся под контролем генетического кода и осуществляются благодаря работе основных директивных систем: нервной, эндокринной, иммунной, ферментативной.

Передача и обмен информации между органами и системами для поддержания гомеостаза происходят при помощи нейрогуморальных и биоэлектрических взаимодействий. В частности, информация от таких систем, как эндокринная, ферментативная и иммунная, поступает в виде химических соединений, белковых структур, ионов и т.д. (гормоны, ферменты, иммунные комплексы [1—4]). В нервной системе взаимодействия происходят еще и за счет электрического (первичного) импульса [5].

Логично предположить, что одним из главных условий должного взаимодействия между органами и системами является поддержание необходимого уровня функциональной активности клеток, тканей (соединений), передающих и принимающих „сигнал“. В целом это удобно обозначить термином „функциональная активность клеток и тканей“ (далее — ФАКТ).

Оценка ФАКТ в детской ортопедической практике является одной из актуальных задач. На сегодняшний день эту задачу в клинических условиях косвенно решают с помощью различных методов диагностики: рентгенографии, МРТ-диагностики, компьютерной томографии, радиоизотопной диагностики, ультразвуковых исследований, иммуно-ферментного и биохимического анализа различных сред организма и др. Информативность и диагностическая ценность перечисленных методов широко варьируют в зависимости от конкретной ситуации.

Нельзя не отметить, что при использовании перечисленных диагностических методик невозможно исключить определенного негативного воздействия на человека. К примеру, при проведении стандартного в ортопедии и травматологии обследования — рентгенографии — пациент получает определенную дозу лучевой нагрузки, аналогичная ситуация складывается и при радиоизотопном исследовании скелета (сцинтиграфии). Кроме того, большинство методик требует специального дорогостоящего оборудования, специфических условий эксплуатации; обследование одного пациента может занимать от десятков минут до нескольких часов. Именно поэтому некоторые методы не находят широкого применения в диагностике и мониторинге заболеваний опорно-двигательного аппарата у детей и подростков.

Вместе с тем появление в клинической практике эффективных неоперативных способов лечения с помощью различных физических полей (электрического, магнитного, электромагнитного, теплового) значительно увеличивает востребованность простых и информативных методов контроля ФАКТ.

Таким образом, все вышесказанное определяет необходимость разработки и внедрения принципиально новых методов диагностики, которые должны отвечать следующим требованиям: безопасность (особенно важно в педиатрической практике), информативность, простота, доступность и возможность широкого применения.

Физико-биологические основы метода. Основными предпосылками к разработке предлагаемого метода контроля ФАКТ послужили известные работы, посвященные электрической системе регуляции жизнедеятельности сложных многоклеточных организмов [5, 6].

Из материалов перечисленных работ можно выделить следующие основные моменты:

1) процессы метаболизма, протекающие в клеточной структуре живой ткани, под воздействием на нее внешних факторов связаны с появлением, переносом и распространением электрических зарядов;

2) качество процессов жизнедеятельности организма (норма или патология) меняет его электродинамические параметры, и прежде всего — диэлектрическую проницаемость тканей.

Отсюда следует, что прямая или косвенная оценка диэлектрической проницаемости может служить показателем электрической активности тканей и соответственно ее функциональной активности.

Известно несколько методов измерения диэлектрической проницаемости веществ в различных агрегатных состояниях в постоянном и переменном электрических полях [7]. Некоторые из них с успехом применяются в медицине. Примером является метод реографии, в основе которого лежит определение электрических свойств биологических тканей по импедансу (комплексному сопротивлению) либо по его изменению. Было установлено, что импеданс живой ткани на частоте электромагнитного поля до нескольких мегагерц включает в себя активное и емкостное сопротивление [6].

Эти результаты с учетом требований к способу выявления ФАКТ определили метод реализации поставленной задачи — метод ближнепольного ВЧ-зондирования, особенности которого детально рассмотрены в работе [9], суть его можно пояснить следующим образом. Датчик, представляющий собой малую антенну, включается в колебательный контур генератора высокой частоты. При контакте датчика с исследуемой областью поверхности тела пациента импеданс этой области оказывает влияние на суммарный импеданс антенны. Это, в свою очередь, приводит к изменению частоты колебательного контура генератора. На рис. 1 приведена схема емкостной части суммарного импеданса C^* антенна—биообъект: C_d — от-

крытый конденсатор (антенна), C_0 — эквивалентная емкость эпидермиса и подкожных тканей, C_k — емкость ткани исследуемого органа.

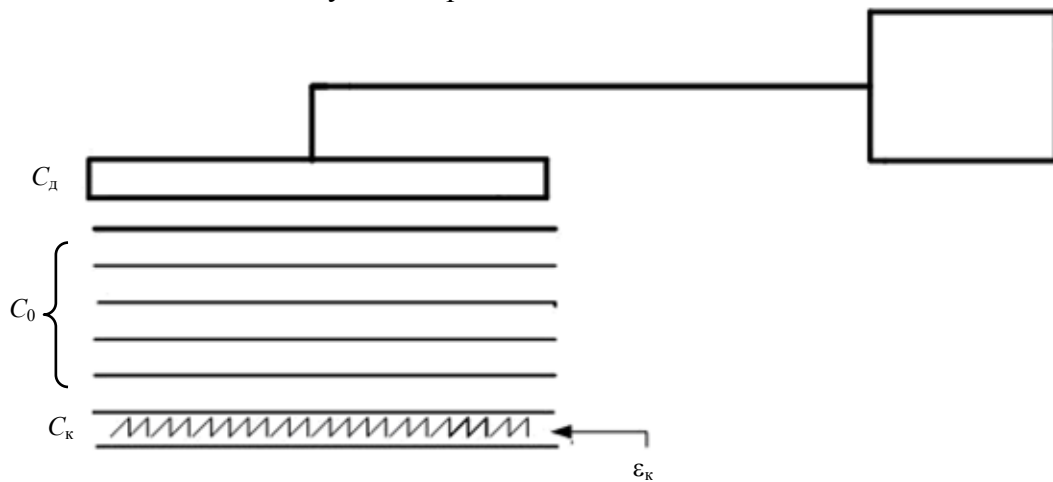


Рис. 1

Оценку влияния исследуемой области на изменение частоты генератора можно провести следующим образом:

$$\omega \sim \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow \frac{\delta C^*}{C^*} \approx \frac{\delta \omega}{\omega}.$$

Устройство для диагностики ФАКТ. Структурная схема измерительного комплекса для ближнепольного ВЧ-зондирования [9] представлена на рис. 2.

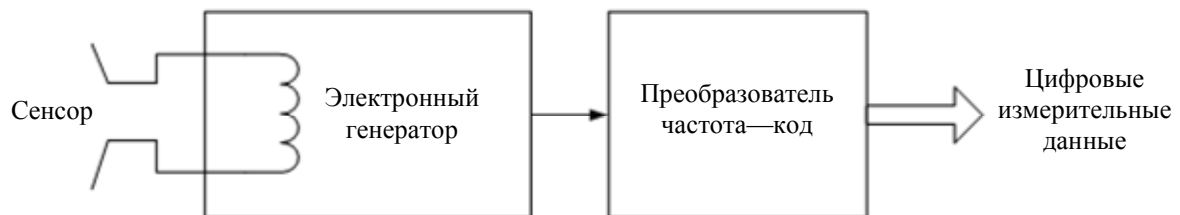


Рис. 2

Чувствительным элементом комплекса, как уже было отмечено, является сенсор, который может рассматриваться как антенна. В ближней зоне поля антенны электрическая составляющая проникающего электромагнитного поля сенсора изменяется под воздействием ориентационной поляризации молекул и ионов биологической среды, изменяется импеданс сенсора. Так как сенсор является частью колебательного контура генератора, то это приводит к изменению частоты колебаний сигнала этого генератора. Частота сигнала генератора находится в интервале 3—4 МГц. Мощность электромагнитного поля сенсора менее 0,1 мкВт, что можно сравнить с фоновым воздействием внешней среды. Изменение частоты несет информацию об электрической реакции биологической среды, а значит и о процессах в ней. После преобразования сигнала в цифровой код программно реализуются необходимые алгоритмы обработки и анализа измерительных данных.

Таким образом, при использовании метода ближнепольного ВЧ-зондирования информация о функциональной активности биологических тканей содержится в значении частоты генератора ВЧ. Причем, если эквивалентная емкость сенсора увеличивается, то в исследуемой области возрастает электрическая, а значит и функциональная, активность биологической ткани за счет увеличения ее диэлектрической проницаемости, что приводит к снижению частоты генератора. Соответственно если функциональная активность биологической ткани уменьшается, то частота генератора возрастает.

Результаты экспериментальных исследований. С помощью рассмотренного выше измерительного комплекса проведены экспериментальные исследования, которые в определенном смысле можно рассматривать как этап апробации физико-биологических основ его работы.

На рис. 3, а сопоставлены между собой взятые из ГОСТ значения диэлектрической проницаемости (ϵ) некоторых жидкостей: гипертонический, физиологический растворы, растворы некоторых органических веществ в воде (обозначены цифрами) с показаниями измерительного комплекса (цифры со штрихом).

На рис. 3, б представлены результаты исследования глубины проникновения поля датчика в биологическую ткань. В качестве тестовой биологической ткани было выбрано свиное мясо, наиболее близкое по биологическим параметрам к мышечным тканям человека. Мясо было разрезано на плоские куски, площадь которых в несколько раз превышала площадь чувствительного элемента измерительного датчика, толщина (x) каждого отдельного куска составляла 3 мм.

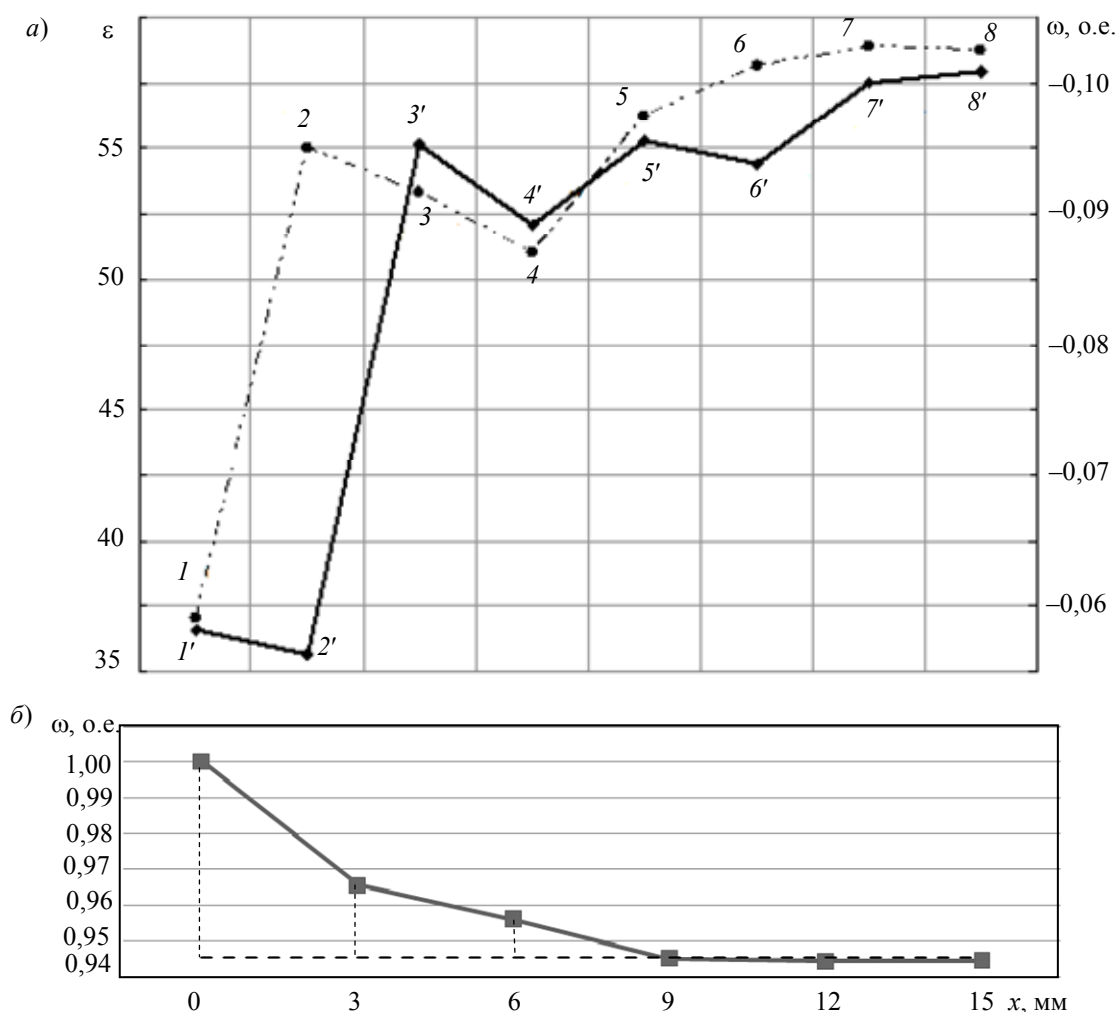


Рис. 3

Проанализировав эти результаты, можно говорить о том, что разработанный измерительный комплекс позволяет корректно фиксировать электрическую активность исследуемых объектов. В случае регистрации тех же параметров от биотканей органов, находящихся под кожей на глубине в несколько сантиметров (с учетом результатов рис. 3, б), оценка их функциональной (электрической) активности может быть произведена с учетом схемы, приведенной на рис. 1.

Определялся уровень ФАКТ области ростковых зон (РЗ) костей конечностей у детей и подростков [9]. Пациенты отбирались по клиническим признакам как условно здоровые, т.е. не имеющие явно выраженных проблем в опорно-двигательном аппарате. Всего было обследовано 250 человек (в возрасте от 4 до 17 лет).

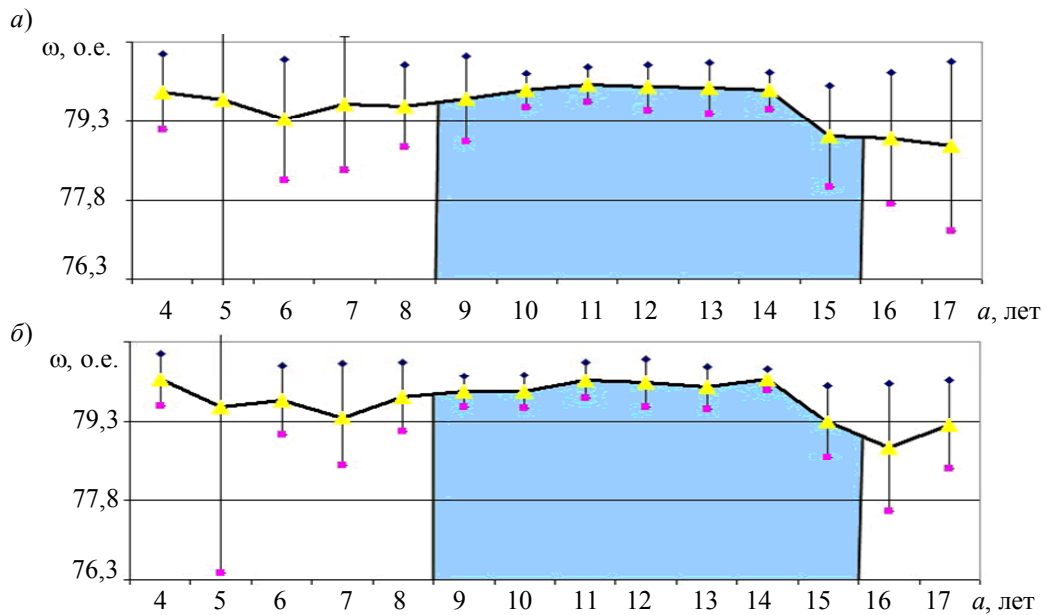


Рис. 4

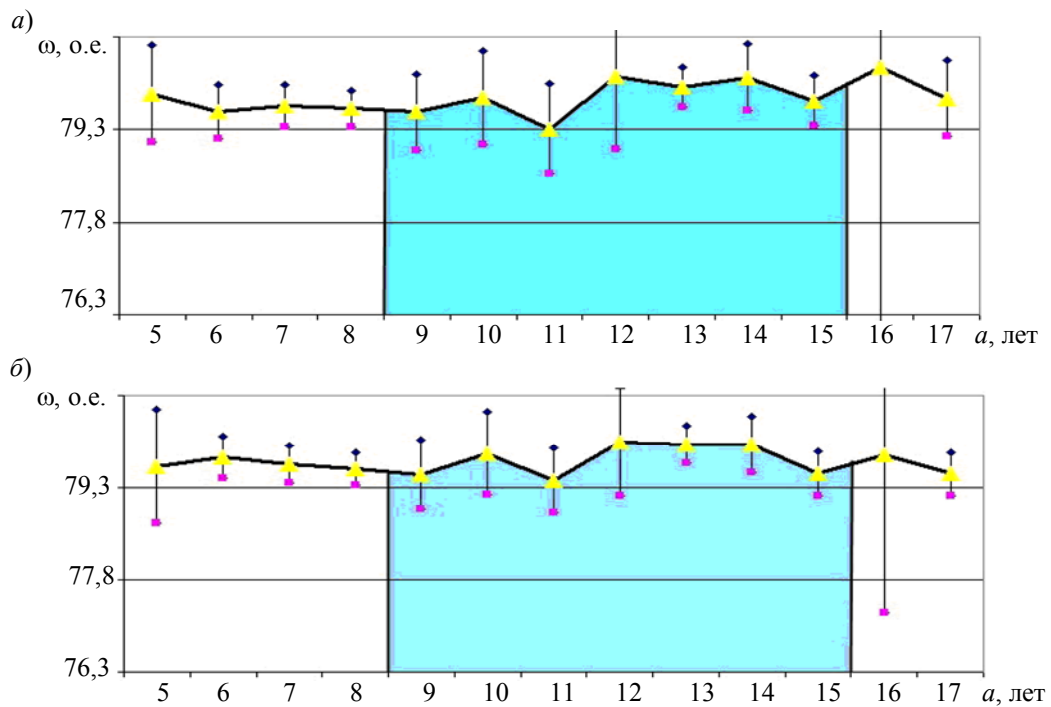


Рис. 5

На рис. 4 и 5 представлены результаты клинических обследований детей на базе Восстановительного центра детской ортопедии и травматологии „Огонек“, проведенных с помощью измерительного комплекса. Графики отражают относительный уровень активности РЗ костей мальчиков (рис. 4) и девочек (рис. 5) различных возрастных групп (*а* — правая, *б* — левая нога). В таблице приведены сведения о распределении пациентов по возрасту и половой принадлежности.

Возраст, лет	Количество мальчиков	Количество девочек
4	5	1
5	2	4
6	6	12
7	4	8
8	7	10
9	11	6
10	15	5
11	14	17
12	13	8
13	12	9
14	27	9
15	17	9
16	6	2
17	6	5

Заключение. Целью проведенных обследований было определение так называемой нормы ФАКТ, получаемой от РЗ костей в разных возрастных группах детей.

Полученные результаты показали, что рассматриваемый метод регистрации, в данном случае ФАКТ области РЗ, дает информацию, которая соответствует общим физиологическим данным нормальных темпов роста у детей и подростков, а именно: наибольшая активность РЗ (рост и формирование скелета) у мальчиков и девочек наблюдается в возрастном интервале от 9 до 15 лет (см. рис. 4 и 5). У мальчиков область активности в указанном интервале выражена более явно. У девочек изменения в уровне активности интервале 11—15 лет по сравнению с мальчиками могут быть объяснены перестройкой их организма в этот период.

В дальнейшем предполагается продолжить работу по определению функциональной активности как РЗ, так и других важных тканей и органов человека с целью создания метода скрининг-диагностики и новых медицинских технологий по лечению широкого круга заболеваний человеческого организма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин П. К. Философские аспекты теории функциональной системы: Избранные труды. М.: Наука, 1978. 400 с.
2. Вельтищев Ю. Е. Рост ребенка: закономерности, отклонения, патология и превентивная терапия: Лекция № 12. М.: Московский НИИ протезирования и детской хирургии МЗ РФ, 1994. 74 с.
3. Гилберт С. Биология развития. М.: Мир, 1995. 352 с.
4. Старкова Н. Т. Клиническая эндокринология: Руководство. СПб: Питер, 2002. 566 с.
5. Электрическая система регуляции процессов жизнедеятельности / Под ред. Г. Н. Зацепиной. М.: Изд-во МГУ, 1992. 160 с.
6. Самойлов В. О. Медицинская биофизика. СПб: Спец. лит., 2007. 560 с.
7. Браун В. Диэлектрики. М.: ИЛ, 1961. 327 с.
8. Медведев В. П., Куликов А. М. Подростковая медицина. СПб: Спец. лит., 1999. 731 с.
9. Балошин Ю. А., Сорокин А. А., Арсеньев А. В., Дудин М. Г. Пат. „Способ диагностики функциональной активности РЗ костей у детей и подростков и устройство для его осуществления“. Положит. реш. от 17.06. 2010 г.

Сведения об авторах

- Юрий Александрович Балошин** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра физики
- Анатолий Александрович Сорокин** — канд. техн. наук, доцент; Балтийский государственный технический университет „Военмех“, кафедра радиоэлектронных систем управления, Санкт-Петербург; E-mail: an_sor@mail.ru
- Алексей Валентинович Арсеньев** — канд. мед. наук; СПб ГУЗ Восстановительный центр детской ортопедии и травматологии „Огонек“; заведующий IV клиническим отделением; E-mail: stivamat@rambler.ru
- Михаил Георгиевич Дудин** — д-р мед. наук, профессор; СПб ГУЗ Восстановительный центр детской ортопедии и травматологии „Огонек“, кафедра детской ортопедии и травматологии; главный врач; E-mail: dudin@admiral.ru
- Александр Николаевич Волченко** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра физики; E-mail: wolf2684@mail.ru

Рекомендована кафедрой
физики

Поступила в редакцию
03.09.10 г.