

УДК 617.3

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЧ-БЛИЖНЕПОЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ БИООБЪЕКТОВ

А.В. Арсеньев, А.Н. Волченко, Л.В. Лихачева, В.И. Печерский

Рассмотрена возможность определения электродинамических параметров тканей биологических сред с использованием неконтактного метода. Показаны принципиальная возможность использования методики для неинвазивной диагностики биообъектов, а также результаты определения функциональной активности ростковых зон (РЗ) костей подростков в качестве иллюстрации возможностей методики. Целью настоящей работы является исследование возможностей метода высокочастотного (ВЧ) ближнепольного зондирования в диагностике биообъектов и его апробация на конкретных обследованиях опорно-двигательного аппарата подростков.

Ключевые слова: ВЧ-ближнепольное зондирование, ростковые зоны, диэлектрическая проницаемость.

Введение

Возникновение и развитие многих заболеваний в ортопедотравматологической практике связано с нарушением процесса роста костей. Рост может ускоряться, замедляться или извращаться. Это может носить как системный, так и локальный характер. Примером таких заболеваний является идиопатический сколиоз, разная длина конечностей, ряд наследственных заболеваний скелета.

Рост костей скелета представляет собой сложный процесс. Он зависит от многих факторов, таких как наследственные заболевания, состояние здоровья ребенка (наличие или отсутствие хронических заболеваний), питание, физическая активность и многое другое.

В свою очередь, все вышеперечисленное зависит от функционирования специальных структур в костях ребенка – так называемых РЗ. Они обеспечивают продольный рост каждого сегмента, а, следовательно, и всего скелета в целом.

На сегодняшний день оценивать функциональную активность РЗ костей ребенка в клинических условиях можно, лишь прибегнув к радиоизотопному исследованию [1], которое имеет ряд недостатков: неизбежно приводит к определенной лучевой нагрузке на организм, требует специального оборудования, на обследование одного пациента затрачивается несколько часов времени, процедура обследования связана с внутривенным введением фармакологического препарата, на который возможна аллергическая реакция. По этим причинам радиоизотопное исследование не находит широкого применения в детской ортопедии для оценки функционирования активности РЗ. Других методов оценки функциональной активности РЗ, альтернативных радиоизотопному методу, в современной медицине не существует.

Однако с появлением в клинической практике эффективных неоперативных способов влияния на РЗ при лечении заболеваний в детской ортопедии и травматологии, в первую очередь – магнитотерапии, необходимость разработки достаточно простых и информативных методов контроля РЗ возросла многократно.

Целью настоящей работы является изучение возможностей метода ВЧ-ближнепольного зондирования в диагностике состояния биообъектов (конкретно – оценка активности РЗ) и его апробация в клинических условиях на исследовании функциональной активности РЗ опорно-двигательного аппарата у подростков.

Материалы и методы

Основными предпосылками к разработке излагаемого здесь метода контроля РЗ послужили работы по электрической системе регуляции процессов жизнедеятельности сложных многоклеточных организмов, полученные в биофизике и медицине [2, 3]:

- определяющая роль электрической системы, регулирующей процессы жизнедеятельности любого организма;
- патологические и физиологические процессы в исследуемых тканях, как правило, сопровождаются изменением их электродинамических параметров, прежде всего диэлектрической проницаемости и проводимости.

Такой же эффект в исследуемых тканях возникает при воздействии на них различных физических полей (электрического, магнитного, электромагнитного, теплого), которые используются в лечебных методиках, например, физиотерапии. Первичным звеном в цепи событий, запускаемых воздействием слабого комбинированного магнитного поля на биосистему, является ион Ca^{2+} , специфически связанный с Ca^{2+} -связывающим центром белка. Этот белок обладает Ca^{2+} -зависимой ферментативной активностью или, альтернативно, способен модулировать активность других ферментов [4]. Другими словами, если говорить о РЗ до воздействия слабых магнитных полей (СМП), область РЗ, имеющая диэлектрическую

проницаемость ε_1 , после воздействия на РЗ характеризуется уже ε_2 . Итак, прямое или косвенное измерение величины ε_2 или величины $\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$ может служить оценкой изменения электрической активности РЗ под влиянием СМП и, соответственно, качественной оценкой пролиферативной активности тканей РЗ [4]. Таким образом, физической составляющей предлагаемого метода оценки функциональной активности РЗ является измерение (оценка) величины диэлектрической проницаемости ε живой ткани или ее $\Delta\varepsilon$.

В технике физического эксперимента хорошо известны методы оценки измерений диэлектрической проницаемости веществ в различных агрегатных состояниях в постоянном и переменном электрических полях [5]. Некоторые из этих методов были использованы и в медицине в методе реографии, в котором электрические свойства биологических тканей определялись по величине и изменению их импеданса (комплексного сопротивления). Все эти методы позволяли оценивать диэлектрическую проницаемость ε через абсолютные или относительные измерения емкости (емкостного сопротивления), в которые включалось вещество с исследуемой ε . Для биологических объектов было установлено, что импеданс живых клеток включает в себя только активное (омическое) и емкостное сопротивления [2, 3]. На основании этого вывода были построены схемы эпидермиса (многослойная композиция), информационных каналов передачи электрических сигналов от различных органов биообъекта на эпидермис, которые включали в себя различные композиции активного и емкостного сопротивлений (RC-цепи). Эти результаты, с учетом условий исследования РЗ (исследования активности РЗ должны быть неинвазивными и безопасными), определяли метод реализации поставленной задачи. Таким методом был выбран метод резонансного ВЧ-ближнепольного зондирования.

Суть этого метода можно пояснить следующим образом. Датчик (рис. 1, 2), представляющий собой малую электромагнитную антенну (открытый конденсатор), включается в качестве нагрузки в резонансную систему (колебательный контур генератора частоты). При контакте датчика с исследуемой областью тела пациента (область РЗ или близлежащие ткани) импеданс этой области оказывает влияние на импеданс антенны через поле самой антенны. Это влияние приводит к изменению (увеличению или уменьшению) резонансной частоты генератора ω_p . По этому изменению частоты можно судить об электромагнитных параметрах исследуемой области вблизи антенны. Используя известную формулу Томпсона для собственной частоты контура генератора $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, можно говорить, что если $\omega_p \leq \omega_0$, то эквивалентная емкость в связи импедансом увеличилась, и в этой точке исследования возросла электрическая активность тканей за счет увеличения ее диэлектрической проницаемости ε . И, наоборот, если $\omega_p \geq \omega_0$, то активность уменьшается за счет уменьшения ε .



Рис. 1. Структура диагностического комплекса

Таким образом, окончательно в методе ВЧ-ближнепольного зондирования информационный сигнал, регистрирующий состояние функциональной активности РЗ или другой биологической ткани, формируется как величина $\Delta\omega = \omega_p - \omega_0$:

- если $\Delta\omega \leq 0$ – функциональная активность возрастает;
- если $\Delta\omega \geq 0$ – функциональная активность уменьшается.

В связи с тем, что РЗ представляет собой зону повышенной обменной активности, и электрические характеристики этой зоны будут отличаться от характеристик соседних зон. Следовательно, с учетом вышесказанного, логично предположить, что сигнал, получаемый от этих областей с помощью прибора ВЧ-ближнепольного зондирования, будет отличаться от сигнала соседних областей.

При этом метод абсолютно безопасен, так как при обследовании на организм ребенка не оказываются никаких негативных воздействий физического плана. Пациент чувствует только легкое прикосновение датчика, который «считывает» уровень сигнала от определенной зоны тела. Продолжительность диагностики занимает несколько минут. Датчик устанавливается над областью РЗ костей конечностей, что требует от специалиста лишь хороших знаний анатомии. Основным элементом – датчик диагностического комплекса, генератор основной частоты ($\omega_0 \approx 3,4 \times 10^6$), преобразователь частота–код с USB интерфейсом и индикатор патологий с PC или Pocket PC (рис. 2).



Рис. 2. Диагностический комплекс

Результаты исследований

На сегодняшний день совместно СПб ГУЗ ВЦДОиТ «Огонек» и ортопедическим санаторием ООО «Родник» (г. Пермь) были произведены независимые обследования с использованием предлагаемого метода и аппаратуры для определения уровня активности РЗ пациентов различных возрастных групп. Всего было обследовано 200 человек в Санкт-Петербурге и 150 человек в Перми (таблица) в возрасте от 4 до 17 лет. Пациенты (мальчики и девочки) выбирались по клиническим наблюдениям как группа условно здоровых, т.е. отбирались пациенты, не имеющие явно выраженных патологий в опорно-двигательном аппарате. Результаты этих исследований приведены ниже на рисунках. На рис. 3, 4 по оси абсцисс приведен возраст групп пациентов. Что касается оси ординат, то по этой оси откладывается относительное изменение частоты генератора датчика в %, где за 100% принимается сигнал, полученный от воздуха перед началом измерений. Целью этих исследований было определить так называемую «норму» сигнала, получаемого от РЗ в разных возрастных группах детей.

Дети	Санкт-Петербург	Пермь
мальчики	120 человек	90 человек
девочки	80 человек	60 человек
всего детей	200 человек	150 человек

Таблица. Общее количество обследованных подростков

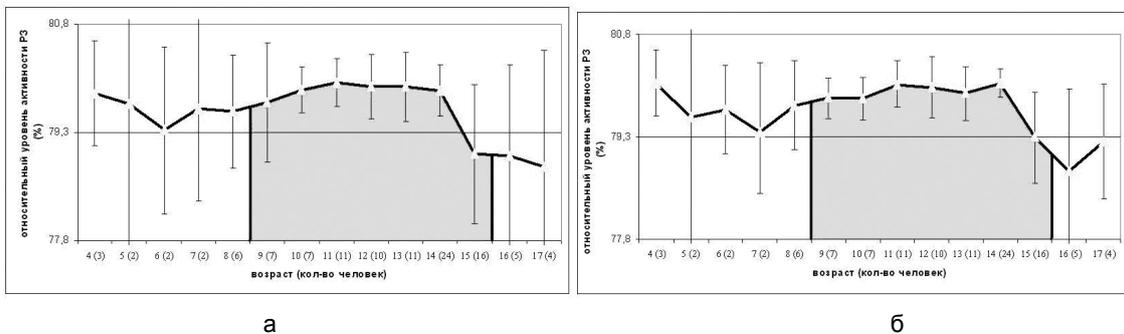


Рис. 3. Относительный уровень активности РЗ у мальчиков различных возрастных групп: правая нога (а); левая нога (б)

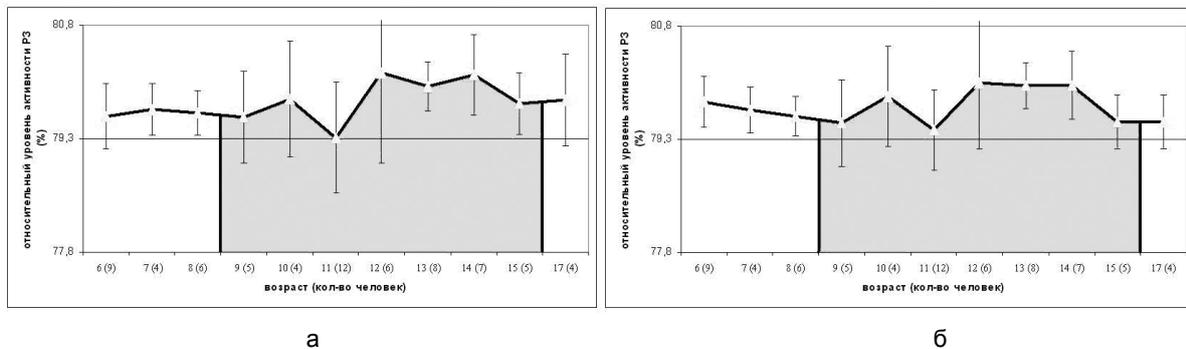


Рис. 4. Относительный уровень активности РЗ у девочек различных возрастных групп: правая нога (а), левая нога (б)

Эти исследования показали, что предложенный метод диагностики активности РЗ регистрирует показатели, коррелирующие с общими медицинскими представлениями о физиологической активности РЗ у подростков, а именно: наибольшая активность РЗ (рост и формирование скелета) у мальчиков и у девочек наблюдается в возрастном интервале 9–15 лет [6, 7].

Обсуждение результатов

Можно отметить следующее:

- у мальчиков область активности в интервале 9–15 лет выражена более явно (рис. 3);
- у девочек (рис. 4) эти отклонения в уровне активности РЗ по сравнению с мальчиками в интервале 11–15 лет могут быть объяснены перестройкой их организма.

Для большей очевидности области «нормы» для активности РЗ необходимо увеличить число наблюдений и уравнивать их по количеству пациентов в каждой возрастной группе. Из графиков на рисунках видно, что разброс измерений относительно среднего уровня определяется количеством пациентов в данной возрастной группе. Если количество пациентов невелико (2–4 человека), то ошибка измерений увеличивается (рис. 3). С увеличением количества пациентов (до 10 и более) наблюдается уменьшение разброса измерений. Таким образом, на основании вышеприведенных результатов (рис. 3, 4) можно говорить о том, что основная цель работы достигнута, а именно: метод ВЧ-ближнеполюсного зондирования дает достаточно простую и оперативную информацию о функциональном состоянии РЗ, совпадающую с физиологическими особенностями активности РЗ в зависимости от возраста и пола (возрастная физиология).

Заключение

Методика обследования достаточно проста, неинвазивна и безопасна. Аппаратно-диагностический комплекс портативен и мобилен.

В дальнейшем предполагается продолжить исследования с целью получения статистически достоверных показателей понятия «нормы» для активности РЗ. В свою очередь, выявленные показатели возрастов нормы активности РЗ могут быть использованы для совершенствования и разработки различных медицинских методик лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата у детей и подростков.

Литература

1. Радионуклидная диагностика для практических врачей / Под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. – Томск: STT, 2004. – 394 с.
2. Электрическая система регуляции процессов жизнедеятельности / Под ред. Г.Н. Зацепиной. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 160 с.
3. Самойлов В.О. Медицинская биофизика: Учебник для вузов. – СПб: СпецЛит, 2007. – 560 с.
4. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей // Биофизика, 1996. – Т. 41. – Вып. 1. – С. 224–231.
5. Браун В. Диэлектрики. – М.: Издательство иностранной литературы, 1961. – 327 с.
6. Вельтишев Ю.Е. Рост ребенка: закономерности, отклонения, патология и превентивная терапия: лекция №12 / Московский НИИ протезирования и детской хирургии МЗ РФ. – М., 1994. – 74 с.
7. Медведев В.П., Куликов А.М. Подростковая медицина. – СПб: СпецЛит, 1999. – 731 с.

- Арсеньев Алексей Валентинович* – СПб ГУЗ ВЦДОиТ «Огонёк», кандидат медицинских наук, зав. отделением, stivamat@rambler.ru
- Волченко Александр Николаевич* – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, wolf2684@mail.ru
- Лихачева Людмила Валентиновна* – ООО «Санаторий-профилакторий «Родник», гл. врач, rodnikperm@mail.ru
- Печерский Виктор Иванович* – ООО «Санаторий-профилакторий «Родник», врач-ортопед, rodnikperm@mail.ru