

ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ И РАЗВИВАЮЩИЙСЯ МЕТОД МЕДИЦИНСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ¹

ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY — A PERSPECTIVE AND PROCEEDING METHOD OF MEDICAL VISUALIZATION

G. Alexanyan

Summary: The paper deals with the analysis of current and emerging diagnostic methods, namely, electrical impedance tomography (EIT). The use of EIT devices is possible in health care facilities, medical diagnostic centers, veterinary clinics; research institutes and centers; institutions of higher education for the diagnosis of human functional state, the determination of the spatial distribution of the internal organs, the reconstruction of images of biological objects, etc. It can be used as an additional functional units of medical equipment. EIT methods and algorithms can find application in the biological and technical detection systems, the detection of internal features of an object.

Keywords: medical examination, diagnostic information, medical equipment, bioimpedance, electrical impedance tomography.

Алексанян Грайр Каренович

К.т.н., доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова (Новочеркасск)
graer@yandex.ru

Аннотация. В статье приведен анализ нынешних и развивающихся методов диагностики, а именно электроимпедансной томографии (ЭИТ). Применение устройств ЭИТ возможно в лечебно-профилактических учреждениях, медицинских диагностических центрах, ветеринарных клиниках; научно-исследовательских институтах и центрах; высших учебных заведениях для диагностики функционального состояния человека, определением пространственного распределения внутренних органов, реконструкцией изображения биологических объектов и т.п. Возможно использование результатов работ как дополнительные функциональные модули медицинской техники. Методы и алгоритмы для ЭИТ могут найти применение как в биологических, так и в технических системах обнаружения, детектирования внутренних особенностей объекта.

Ключевые слова: медицинское обследование, диагностическая информация, медицинская техника, биоимпедансометрия, электроимпедансная томография.

Введение

Диагностика функционального состояния человека во многом определяется объективной и достоверной информацией, получаемой в ходе медицинского обследования. Одними из информативных параметров, используемых в клинической практике, являются геометрические размеры, местоположение, состав, электропроводимость, форма и плотность органов и биотканей. Особенно важным является применение неинвазивных и безвредных методов получения диагностической информации.

Для этих целей в настоящее время разработаны и находят широкое клиническое применение сложные высокоинтеллектуальные технические средства медицинской визуализации, основанные на различных принципах действия. К ним можно отнести магниторезонансные томографы, компьютерные рентгеновские томографы, медицинские термографы, ультразвуковые устройства. Данные системы позволяют повысить эффективность работы медицинского персонала, достоверность диагностирования заболевания, оптимизировать существующие методики, а также развивать

перспективные терапевтические и хирургические методы и подходы для комплексной оценки и мониторинга состояния человека.

В последние годы для получения количественной и качественной информации о состоянии биообъекта (например, человека) используется такой метод измерения, как биоимпедансометрия (БИМ) [1, 2]. Сфера применения БИМ с каждым годом расширяется и охватывает различные области биологии и медицины. Одним из перспективных направлений применения БИМ является получение информации о внутренней структуре биологических тканей (определение уровня дегидратации организма человека, компонентного состава мышечной ткани, определение состояния клеточных структур, костной ткани, баланс водных сред и т.п.). Биоимпедансометрия также применяется для комплексного анализа состава тела человека [1, 2]. Имеются научные рецензированные труды по использованию методов БИМ для характеристики текущего состояния и физического развития группы людей (популяций), а также оценки распространенности избыточной массы тела, ожирения и истощения, других нарушений нутритивного статуса и рисков заболеваемости [3]. В настоящее время

¹ Работы выполняются в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК 4856.2015.8

мя серийно выпускаются биоимпедансные анализаторы для здравоохранения и биологии, например, такие как «ABC-01 МЕДАСС» [4], ДИАМАНТ-АКТ [5], Tanita BC-543, Omron HBF-306 [6], Biospace InBody [7], приборы фирмы Seca [8] и многие др.

Измерение импеданса человека (или биообъекта) положено также и в основу метода электроимпедансной томографии. Электроимпедансная томография (ЭИТ) [9] представляет собой метод медицинской визуализации распределения удельного сопротивления тела человека (или внутренних органов). В общем виде ЭИТ, как метод медицинской визуализации [10], относится к так называемой квазистатической томографии [11] и включает в себя алгоритмы двумерной и трехмерной реконструкции и визуализации [10,11].

В общем случае суть метода заключается в следующем. На исследуемый объект посредством поверхностных токоподводящих электродов подается высокочастотный электрический ток. Путем регистрации напряжения на поверхности тела оценивается распределение электрической проводимости внутренних структур биообъекта в томографических сечениях [11, 12]. В этой связи технология ЭИТ обладает значительным потенциалом для получения необходимых результатов при диагностике общего функционального состояния человека, исследовании динамических процессов сердечно-сосудистой деятельности, наблюдении онкологических образований, мониторинга дыхательной системы, оценке гипертермии и т.п. Электроимпедансная томография относится к неинвазивным, безвредным и высокоэффективным техническим средствам современного медицинского приборостроения, так как позволяет избавить человека от комплекса болевых и неприятных ощущений, в процессе обследования не используются радиоизотопные и рентгенологические методов, исключается внесение во внутреннюю среду организма человека болезнетворных вирусов и бактерий, чужеродных веществ (например, эндоскопические процедуры) [13].

В настоящее время серийно выпускаются и используются в клинической практике следующие виды электроимпедансной медицинской техники [12]:

1. Электроимпедансный маммограф «МЭМ» [14,15] предназначен для применения в условиях специализированных отделений больниц и клиник учреждений здравоохранения для скрининговых исследований молочной железы. Производитель ООО «Импедансные медицинские технологии», Российская Федерация.
2. Электроимпедансный томограф Swisstom BB2 [16] разработано специально для непрерывного мо-

нитинга работы легких у пациентов отделений интенсивной терапии, которым проводится искусственная вентиляция легких (ИВЛ). Производитель Swisstom AG, Швейцария.

3. Электроимпедансный томограф PulmoVista® 500 [17] позволяет вести динамический мониторинг функции легких прямо у постели больного. Томограф предназначен для применения в повседневной клинической практике. Производитель Drägerwerk AG & Co. KGaA, Германия.
4. Электроимпедансный томограф серии Elisa 800 [18], представляет собой комплекс, в котором интегрированы функциональные возможности аппарата ИВЛ и технологии ЭИТ. Производитель SALVIA medical GmbH & Co. KG, Германия.
5. *Гинекологический импедансный томограф «ГИТ»*, [15] диагностический прибор, основанный на методе ЭИТ, позволяющий без инвазивного вмешательства визуально оценивать и получать количественные показатели электропроводности влажалищной части шейки матки на глубине до 1–1,5 см. Прибор находится в стадии клинических испытаний. Ожидаемое начало продаж — 2015 год. Производитель ООО «Импедансные медицинские технологии», Российская Федерация.

Широкое распространение метод ЭИТ получил благодаря развитию радиоэлементной базы, микропроцессорных технологий, а также появлению соответствующих математических аппаратов и специализированных программных систем для обработки и анализа томографических данных. Например, EIDORS, Maxwell, ANSIS, RES2DINV, GREIT. Существуют работы по использованию пакета MicroCap для задач ЭИТ [19].

К достоинствам метода ЭИТ можно отнести следующее:

- ♦ Безвредность для обслуживающего персонала и пациента. Это позволяет проводить частые обследования и обнаруживать заболевания на самых ранних стадиях.
- ♦ По сравнению с компьютерной томографией и магниторезонансной томографией устройства ЭИТ требуют меньшей квалификации обслуживающего персонала.
- ♦ Одним из основных преимуществ устройств, основанных на принципе ЭИТ, является цена. Стоимость магниторезонансных томографов на рынке варьируется нескольких десятков миллионов рублей. При этом дешевые магниторезонансные томографы дают низкокачественное изображение с обилием шумов и низким разреше-

Таблица 1. Направлений исследований за рубежом по тематике ЭИТ

Направление исследований	Кол-во статей
Маммография	4
MREIT	25
Моделирование и анализ контакта электрода с кожей и его положения	13
Исследование мочевого пузыря методом ЭИТ	1
Мониторинг гидратации методом ЭИТ	1
Алгоритмы реконструкции изображения и их оценка	24
Двумерная и трехмерная оценка вентиляции легких методом ЭИТ	27
Визуализация грудной клетки методом ЭИТ	5
Исследование мозга методом ЭИТ	13
Анализ костной ткани при ЭИТ	2
Повышение качества изображения и компенсация ошибок	9
Оценка погрешности визуализации	5
Исследования влияния травм и операций на импеданс биоткани	2
Трехмерная ЭИТ и оптимизация методов трехмерной визуализации	8
Клиническая и экспериментальная оценка результатов исследований методом ЭИТ	3
Исследование сердца методом ЭИТ	2
Гинекологическая ЭИТ	1
Визуализация предстательной железы и простаты	5
FDEIT	2
Системы электроимпедансной томографии	7
Обнаружение внутренних кровотечений методом ЭИТ	1
Исследование брюшной полости методом ЭИТ	1
Оценка жировых отложений методом ЭИТ	2
Источник тока для ЭИТ	2
Физические и математические модели для исследований в области ЭИТ	7
Ангиография методом ЭИТ	2
Исследование печени методом ЭИТ	1
Визуализация ноги методом ЭИТ	1

нием. Рентгеновские компьютерные томографы стоят от нескольких единиц миллионов рублей за 2-срезовый до нескольких десятков миллионов рублей за 128-срезовый.

- ◆ Существенным преимуществом являются массогабаритные показатели. Так, аппараты для магниторезонансной томографии весят от 1,5 тонн, а аппараты для рентгеновской компьютерной томографии от 1 тонны, а устройство на ЭИТ — несколько килограмм.

Однако, несмотря на многочисленные достоинства данному методу присущи недостатки, к которым можно отнести: сложность математического аппарата реконструкции и визуализации, специализированное программное обеспечение, отсутствие широкого применения в клинической диагностической практике устройств ЭИТ, позволяющих количественно определять параметры органа (биообъекта, человека). Одной из главных проблем

ЭИТ является отсутствие единого универсального подхода для биоимпедансных томографических исследований. Это обусловлено спецификой и сложностью биологического объекта, его пространственной структурой, механизмами функционирования, физиологическими процессами, протекающими в нем, анатомическими особенностями каждого биообъекта, его возраста, положения, условий окружающей среды, случайных внешних воздействий и т.п.

На основании обзора и анализа современного состояния проблемы [12] можно сделать вывод, что существует необходимость в разработке новых подходов, математических моделей и устройств для повышения точности измерений, разработки и исследовании алгоритмов визуализации пространственного распределения. Перспективным направлением в данной области является комплексное использование экспериментальных исследований, моделирования и компьютерных технологий для получения необходимой информации [11, 12, 20, 21].

Таблица 2. Перечень выявленных журналов, в которых опубликованы научные работы российских в области ЭИТ за 2009–2014 гг.

Наименование	ISSN	Количество статей по теме
1 Медицинская техника	0025–8075	2
2 Медицинская визуализация	1607–0764	5
3 Вестник Томского государственного университета. Математика и механика	1998–8621	2
4 Биомедицинская радиоэлектроника	1560–4136	11
5 Поликлиника	2311–2441	1
6 Российский физиологический журнал	0869–8139	1
7 Вычислительные методы и программы	0507–5386	1
8 Гинекология	2079–5696	1
9 Хирург	2074–0190	7
10 Вестник Российского Научного Центра рентгенодиагностики	1999–7264	2
11 Прикладная математика и информатика	0032–8235	1
12 Журнал вычислительной математики и математической физики	0044–4669	3
13 Биотехнические системы в медицине и экологии		1
14 Сибирский математический журнал	0037–4474	1
15 Дифференциальные уравнения	0374–0641	1
16 Научный вестник НГТУ	1814–1196	1
17 Вопросы онкологии	0507–3758	1
18 Врач скорой помощи	2074–742X	1
19 Радиология	2071–9426	1
20 Автометрия	0320–7102	3
21 Вычислительные технологии	1560–7534	2
22 Современные проблемы науки и образования	2070–7428	1
23 Фундаментальные исследования	1812–7339	3
24 Анестезиология и реаниматология	0201–7563	1
25 Бюллетень экспериментальной биологии и медицины	0365–9615	1
26 Медицинская радиология и радиационная безопасность	0025–8334	1

Развитию направления исследований и расширения областей применения свидетельствует количество публикаций по теме ЭИТ как в Российской Федерации, так и за рубежом. Так, в рамках проведенных исследований по соглашению о предоставлении субсидии № 14.574.21.0029). (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57414X0029, Министерство образования и науки Российской Федерации) за 2009–2014 гг. выявлены следующие направления исследований зарубежных научно-технических коллективов (табл. 1). Перечень выявленных журналов, в которых опубликованы научные работы российских в области ЭИТ за 2009–2014 гг. приведен в таблице 2.

Заключение

Метод ЭИТ претерпевает бурное развитие в различных областях здравоохранения и биологии. С каждым годом увеличивается количество применяемых

в врачебной деятельности устройств, основанных на принципах данного метода. Несмотря на то, что в настоящее время ЭИТ отличает ряд существенных недостатков, ограничивающих ее повсеместное применение, данный подход зарекомендовал себя как эффективный метод мониторинга и качественной и количественной оценки ряда физиологических параметров биологических объектов, а в некоторых случаях позволил достичь принципиально новых результатов (например, при мониторинге вентиляции легких). Исследования по данной тематике ведутся более чем в 20 странах мира, регулярно проводятся специализированные конференции и семинары. Производители ЭИТ устройств открыты для диалога и находятся в постоянном взаимодействии с практикующими врачами и специалистами по данной проблеме. Появление новых алгоритмов и подходов в области ЭИТ позволит вывести данный метод на научно-технический уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев Д. В. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д. В. Николаев, А. В. Смирнов, И. Г. Бобринская, С. Г. Руднев. — М.: Наука, 2009. — 392 с. — ISBN 978-5-02-036696-1 (в пер.).
2. Мартиросов Э. Г. «Технологии и методы определения состава тела человека» / Э. Г. Мартиросов, Д. В. Николаев, С. Г. Руднев. — М.: Наука, 2006. — 248 с.
3. Bioimpedance study of body composition in the Russian population / S. G. Rudnev, N. P. Soboleva, S. A. Sterlikov, D. V. Nikolaev, O. A. Starunova, S. P. Chernykh, T. A. Eryukova, V. A. Kolesnikov, O. A. Melnichenko, E. G. Ponomareva. — М.: RIO TSNIIOIZ, 2014. — 493 p.
4. Medass [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.medass.ru>, свободный.
5. diamant.spb [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.diamant.spb.ru>, свободный.
6. OMRON [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://omron.ru>, свободный.
7. inbody [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.inbody.com>, свободный.
8. seca [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.seca.com>, свободный.
9. Пеккер Я. С. Электроимпедансная томография. — Томск: Изд-во НТЛ, 2004. — 298 с.
10. Алексанян Г. К., Тарасов А. Д., Кучер А. И. Методы медицинской визуализации внутренних структур биообъекта. Научно-техническая конференция и выставка инновационных проектов, выполненных вузами и научными организациями ЮФО в рамках участия в реализации федеральных целевых программ и внепрограммных мероприятий, заказчиком которых является Минобрнауки России: сб. материалов конф., г. Новочеркасск, 14–16 дек. 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т им. М. И. Платова. — Новочеркасск: Лик, 2014. — С. 400–401
11. Корженевский А. В. Квазистатическая электромагнитная томография для биомедицины [текст]: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.01 / Корженевский Александр Владимирович. — М., 2009. — 255 с.
12. Aleksanyan G. K., Gorbatenko N. I., Tarasov A. D. Modern Trends in Development of Electrical Impedance Tomography in Medicine — Biosciences Biotechnology Research Asia. — 2014. — Vol. 11. — P. 85–91
13. Electrical impedance tomography [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.eit.org.uk/>, свободный.
14. ПКФ «СИМ-Техника» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.impedance.ru>, свободный.
15. Компания «Импедансные медицинские технологии» (ООО «ИМТ») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.medimpedance.ru/>, свободный.
16. Swisstom AG [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.swisstom.com>, свободный.
17. Drägerwerk AG [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.draeger.com>, свободный.
18. SALVIA medical [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://salvia-medical.de>, свободный.
19. Алексанян Г. К., Кучер А. И., Нгуен М. К., Чан Н. Ф. Применение MicroCap и EIDORS в задачах электроимпедансной томографии. Вьетнамо-российская Междунар. науч. конф., ГТУ им. Ле Куи Дона, 02–03 апр. 2015 г.: тез. докл. / ГТУ им. Ле Куи Дона. — Ханой: ЛКД изд-во, 2015. — С. 50–51
20. Aleksanyan G. K., Gorbatenko N. I., Tarasov A. D. Development of Hardware-Software Complex for Electrical Impedance Tomography of Biological Objects. Research Journal of Applied Sciences. — 2014. — Vol. 9, Issue 12. — P. 1030–103
21. Aleksanyan G. K., Lankin M. V., Lankin A. M., Narakidze N. D. Development Of Principles Of Computer Appliance Functioning, Determination Of Characteristics Of The Biological Object. International Journal of Applied Engineering Research. — 2015. — Vol. 10, № 3. — P. 6489–6498

© Алексанян Грайр Каренович (graer@yandex.ru). Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

