

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 615.47

Квартальный  
Максим Анатольевич

Моделирование транскраниальной магнитной стимуляции  
на основе МРТ изображений

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1–38 80 03 «Приборы, системы и изделия медицинского  
назначения»

---

Научный руководитель  
Давыдов Максим Викторович  
канд. техн. наук, доцент

---

Минск 2018

## ВВЕДЕНИЕ

В экспериментальной биологии и медицинской практике накоплен громадный эмпирический опыт об эффектах электромагнитных полей, требующий систематизации и теоретического осмысления для расшифровки механизмов их действия на живые объекты. Обилие гипотез по этой проблеме свидетельствует скорее о ее нерешенности, чем о достаточном уровне понимания механизмов взаимодействия живого с естественными и искусственными магнитными полями.

Так, например, в настоящее время повышенный интерес исследователей и клиницистов во всем мире вызывает метод транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС)

Транскраниальная магнитная стимуляция, первоначально предложенная как диагностический и исследовательский метод, быстро вышла за рамки функциональных исследований. Появление возможности неинвазивно стимулировать структуры головного мозга, и с помощью тормозных и активирующих механизмов влиять на высшие корковые функции и психический статус пациента, открыло новые горизонты и области применения ТМС. Высокотехнологичные магнитные стимуляторы, а также многофункциональное программирование параметров магнитного импульса, обеспечили необходимые критерии безопасности и сделали транскраниальную магнитную стимуляцию одним из надежных терапевтических методов.

Целью настоящей диссертационной работы является визуализация очагов локализации величин магнитного и электрического полей в объеме модели биологических тканей человека, полученной на основе данных МРТ-изображений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор существующих методов и технических средств воздействия магнитных полей на биологические ткани человека.
- разработать метод получения объемных моделей биологических тканей человека на основе данных МРТ.
- провести моделирование процедуры ТМС методом конечных элементов при использовании полученных моделей.

# **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

## **Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами**

Тема диссертационной работы утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Диссертационная работа выполнялась на кафедре «Электронной техники и технологии».

## **Цель и задачи исследования**

Целью исследования является визуализация очагов локализации и величины электрического поля на поверхности и в объеме модели биологических тканей человека, полученных на основе данных МРТ-изображений.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- провести обзор существующих методов и технических средств воздействия магнитных полей на биологические ткани человека.
- разработать метод получения объемных моделей биологических тканей человека на основе данных МРТ.
- провести моделирование процедуры ТМС методом конечных элементов при использовании полученных моделей.

Объектом исследования является объемная модель биологических тканей человека, полученная на основе МРТ-изображений.

Предметом исследования выступает локализация и величина магнитного и электрического полей в объеме полученной модели.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1–38 80 03 «Приборы, системы и изделия медицинского назначения».

## **Положения, выносимые на защиту**

1. Метод получения объемных моделей биологических тканей человека на основе МРТ-изображений

2. Метод моделирования процедуры транскраниальной магнитной стимуляции

3. Визуализация распределения и величина магнитного и электрического полей в объеме полученной модели.

### **Личный вклад соискателя**

Все основные научные результаты, представленные в работе, получены соискателем самостоятельно. В диссертации изложены результаты научно-исследовательских работ, выполненных автором лично и в соавторстве (2 публикации). Личный вклад соискателя заключается в разработке метода получения объемных моделей биологических тканей человека на основе данных МРТ-изображений.

Участие научного руководителя: кандидата технических наук, доцента кафедры ЭТТ БГУИР Давыдова М. В. заключалось в обсуждении структуры, целей и задач исследований, обсуждении и обобщении результатов теоретических и практических исследований, проведенных автором самостоятельно.

### **Апробация результатов диссертации**

Результаты исследования были неоднократно представлены на X Международной научно-технической конференции «Медэлектроника-2016. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» (10-11 декабря, Минск, БГУИР); VII Международной научно-технической конференции OSTIS-2017 (16-18 февраля 2017 г., Минск, ПВТ); 53-й научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (02-06 мая 2017 г., Минск, БГУИР).

### **Опубликованность результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 2 печатных работ, из них 2 научные статьи в сборниках международных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из общей характеристики работы, введения, трех глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и

приложений. Общий объем диссертации составляет 46 страниц, 26 иллюстрации, 1 таблица, 22 наименования в библиографическом списке.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении рассмотрено современное состояние проблемы исследования воздействия магнитных полей на организм человека, определены основные направления и задачи для реализации цели исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В общей характеристике работы сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте и предмете исследования и обоснован их выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В первой главе рассматриваются анализ литературных источников, научных работ и существующих технических средств для исследования воздействия магнитных полей на биологические объекты, рассмотрена методика проведения процедуры транскраниальной магнитной стимуляции, описан стандарт медицинской визуализации DICOM.

Во второй главе описан метод восстановления объемной модели тканей головного мозга человека на основе данных МРТ. Пошагово описан метод сегментации тканей и объемного рендеринга в приложении 3D Slicer. Репарация модели в приложении Autodesk Netfabb.

В третьей главе разработан метод моделирования воздействия магнитного поля на биологические ткани человека. Моделирование производилось методом конечных элементов в программном пакете Comsol Multiphysics.

В заключении сформулированы основные результаты исследований.

В приложениях приведены публикации соискателя и графический материал.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Появление возможности не инвазивно стимулировать структуры головного мозга, и с помощью тормозных и активирующих механизмов влиять на высшие корковые функции и психический статус пациента, открыло новые горизонты и области применения ТМС. Высокотехнологичные магнитные стимуляторы, а также многофункциональное программирование параметров магнитного импульса, обеспечили необходимые критерии безопасности и сделали транскраниальную магнитную стимуляцию одним из надежных терапевтических методов.

Однако, хотя эффекты ТМС и доказаны во многих исследованиях, они являются достаточно переменными и имеют ограниченную

продолжительность. Эти особенности метода модифицируются подходом персонализации ТМС-терапии.

Индивидуальная клиническая картина заболевания складывается из структуры самого заболевания (стадии, формы, причины), ответной реакции организма на болезнь (генетическая предрасположенность, защитные механизмы, адаптация) и других внешних условий среды. В этом ключе метод ТМС может выступать как инструмент локального индивидуального модулятора зон коры (активации или ингибирования) в режиме, необходимом данному конкретному пациенту. Такой подход, безусловно, невозможен без применения новых навигационных систем ТМС, основными особенностями которых является возможность точно локализовать место стимуляции конкретного пациента и поверять место стимула в течении терапии, а также совмещать данные ТМС, ЭЭГ и МРТ конкретного пациента. Этот метод уже доказал свою эффективность по сравнению с классической ТМС в ряде работ. Применение подхода персонализация ТМС терапии способствует увеличению эффективности метода и расширению показаний для его применения.

Одним из путей развития подхода персонализации процедуры ТМС является использование данных снимков МРТ при навигации воздействующего на ткани головного мозга магнитного поля. Данный метод подразумевает получение объемной модели конкретной биологической структуры, которая были получены методом сегментации при использовании программного пакета 3D Slicer.

Дальнейшая корректировка полигональной модели в приложении Autodesk Netfabb позволяет произвести корректный импорт в среду моделирования Comsol Multiphysics, где был произведен конечно-элементный расчет воздействия магнитного поля на биологическую структуру, в результате которого были получены картины распределения электрического поля на поверхности и в объеме модели, что позволяет определить очаги локализованного воздействия при исходных данных расположения индуктора относительно биологической структуры.

По результатам проведенных исследований все поставленные задачи решены в полном объеме, что позволяет сделать вывод о том, что цель работы реализована на практике. Разработанный метод моделирования воздействия магнитного поля на биологические ткани человека на основе данных МРТ изображений является развитием подхода персонализации процедуры ТМС.

Дальнейшие исследования по данной теме предполагают реализацию навигационной системы для проведения транскраниальной магнитной стимуляции.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Квартальный М.А. Моделирование воздействия магнитного поля на эквиваленты биологических тканей человека / М.А. Квартальный, М. В. Давыдов, Сагай Маруф Газаль // Доклады БГУИР. – 2016. – №7(101) – С.295-300.

2. Квартальный М.А. Метод моделирования биологических тканей головного мозга человека на основе данных МРТ / М.А. Квартальный, М. В. Давыдов // ITIS-2017. «Информационные технологии и системы» : Сборник научных статей Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25 окт. 2017 г. / БГУИР ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2017. – С.292- 293.