

## Выбор оптимальной технологии локализации транскраниальных нейростимуляторов на скальпе человека

Н.Н. Каркищенко<sup>1</sup>, Д.Б. Чайванов<sup>2</sup>, А.А. Варганов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Научный центр биомедицинских технологий РАМН, Московская область

<sup>2</sup> – НИЦ «Курчатовский институт», Москва

Контактная информация: к.ф.-м.н. Дмитрий Борисович Чайванов [chaivanov@yandex.ru](mailto:chaivanov@yandex.ru)

Для проведения транскраниальной нейростимуляции необходима методика правильного расположения стимуляторов над заданными структурами мозга. В работе рассмотрены транскраниальная магнитная стимуляция, ритмическая электростимуляция, транскраниальная микрополяризация; определены требования по точности установки стимуляторов и найдены оптимальные технологии локализации.

**Ключевые слова:** транскраниальная магнитная стимуляция, транскраниальная электростимуляция, ритмическая электростимуляция, транскраниальная микрополяризация, УЗ-стимуляция, нейромодуляция, локализация.

**Цель:** Для проведения транскраниальной нейростимуляции необходима методика правильного расположения стимуляторов над заданными структурами мозга. В работе определены требования по точности установки стимуляторов и найдены оптимальные технологии локализации.

Задача локализации транскраниальных нейростимуляторов на скальпе человека состоит из двух частей: во-первых, определение точности установки стимуляторов и, во-вторых, разработка методики установки стимуляторов с заданной точностью.

Методика транскраниальной нейромодуляции сочетает различные физические методы воздействия на мозг

человека. Каждый из них имеет свои предельно достижимые размеры локализации. Именно величина предельно достижимых размеров локализации определяет требования, предъявляемые к точности установки стимуляторов на поверхности скальпа человека.

Из соображений безопасности все виды стимуляции можно разделить (рис. 1) на допустимые, сомнительные и недопустимые виды [10].

Из рис.1 видно, что наиболее безопасными являются следующие методы: транскраниальная магнитная стимуляция; ритмическая электрическая стимуляция; транскраниальная микрополяризация; ультразвуковая транскраниальная стимуляция.

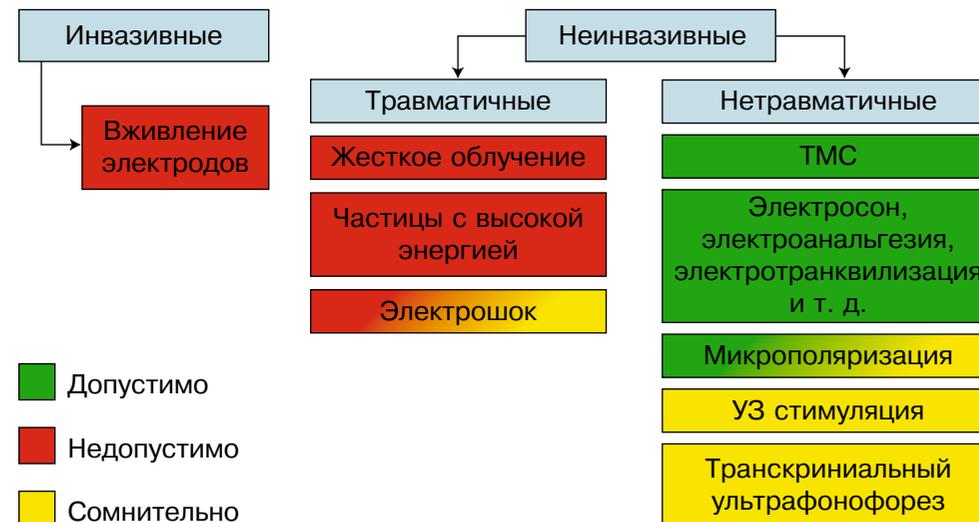


Рис. 1. Допустимость применения различных физических методов воздействия на головной мозг человека

При **транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС)** предельно достижимые размеры зоны стимуляции определяются конструкцией индукторов и свойствами электромагнитного поля [3, 8]. Как правило, они лежат в диапазоне 10-30 мм [3, 8], а допустимая погрешность локализации электрода на поверхности скальпа равна 5-10 мм.

При **ритмической электростимуляции** воздействие осуществляется на ствол головного мозга человека, поэтому к точности установки электродов особых требований не предъявляется. Вполне приемлемой является погрешность в 10-20 мм.

При **транскраниальной микрополяризации** коэффициенты затекания токов в зависимости от размеров стимулирующих электродов можно определить по таблице [11].

Из таблицы видно, что при радиусе менее 10 мм затекание тока в мозг прак-

тически не происходит. Следовательно, применять электроды меньших размеров не имеет смысла, а допустимая погрешность локализации электрода на поверхности скальпа равна 5 мм.

Главное препятствие к проведению ультразвуковой стимуляции представляет отражение, рассеяние и затухание ультразвука при прохождении границ скальпа, черепа и тканей мозга.

В ряде статей приводятся данные о различных достижениях по локализации области воздействия ультразвуком [1, 5, 7, 12]. По крайней мере, большинство авторов сходятся во мнении, что диаметр области в 5-10 мм (в зависимости от частоты ультразвука и места воздействия) вполне достижим, а значит, погрешности при установке ультразвуковых стимуляторов не должны превышать 5 мм.

Из приведенного выше анализа видно, что требования к погрешности при

Коэффициенты затекания для электродов разных размеров

Таблица

Радиус электрода, мм	5	7	9	11	13	15
Коэффициент затекания	0,013	0,022	0,033	0,045	0,059	0,073

установке стимуляторов на поверхности скальпа не превышают 5-10 мм.

Известные способы решения задачи локализации можно разделить на непосредственные и опосредованные. Продуктивность метода всегда складывается из двух показателей: метрической точности и возможности идентификации максимально большого числа структур мозга с помощью этого метода [2].

Непосредственные способы локализации заключаются в проведении интроскопического обследования (МРТ, РКТ) и последующего изготовления МРТ-локализатора или применения радиочастотного зонда для определения положения точки мишени по ее координатам в системе координат томограммы. Непосредственная локализация имеет высокую метрическую точность (1-3 мм) и применяется при стереотаксическом вмешательстве [2]. Такая методика требует дорогостоящего оборудования (МРТ, РКТ, радиочастотный зонд) и имеет избыточную для нужд транскраниальной нейростимуляции точность. Погрешность данного метода ограничивается, главным образом, погрешностями идентификации структур на томограмме с помощью стереотаксического атласа — например, Тайлераха.

Также применяются опосредованные способы решения этой задачи с помощью электроэнцефалографических схем, схемы Кронлейна-Брюсовой [9], сравнения внутримозгового пространства пациента со стереотаксическим атласом. Опосредованная локализация часто применяется в случае, если структуру-мишень не удается идентифицировать на томограмме, полученной в результате интроскопического обследования. Так, например, сопряжена с рядом сложностей идентификация на МР-томограмме полей

Бродмана коры больших полушарий головного мозга человека. Эта работа может быть произведена только вручную, и вследствие этого происходит существенная потеря точности. Поэтому в работе [6] мы предложили именно метод опосредованной локализации полей по Бродману.

Нами была разработана методика локализации полей Бродмана коры головного мозга человека на поверхности скальпа [6] и методика локализации проекций поверхностных структур мозга по атласу Тайлераха [4]. Методика заключается в проекции структур мозга на поверхность скальпа и, затем, перевода полученных декартовых координат точки в угловые. Их погрешность складывается из погрешности атласа Тайлераха (ПТайлераха), погрешности расчетов (Прасчетов) и погрешности вносимой неточности привязки координатной шапки к физиологическим маркерам головы человека. Погрешность, вносимая атласом Тайлераха, как отмечалось выше, равна 1-3 мм. Поскольку расчеты выполнялись с точностью выше шести знаков после запятой, их погрешностью можно пренебречь. Погрешность, вносимая координатной шапкой, по нашей оценке равна 2-3 мм. Поскольку все погрешности имеют случайный характер, суммарная величина ошибки может быть рассчитана по формуле:

$$P = \sqrt{P_{\text{Тайлераха}}^2 + P_{\text{Шапки}}^2} = 1,4 \div 4,2$$

Таким образом, разработанная нами технология имеет достаточную точность и не требует дорогостоящего оборудования.

### Список литературы

1. **Акопян Б.В., Ершов Ю.А.** Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2005.
2. **Бехтерева Н.П., Аничков А.Д., Гурчин Ф.А., Дамбинова С.А., Илюхина С.А.** Лечебная электрическая стимуляция мозга и нервов человека/ под ред. Н.П. Бехтеревой. М.: АСТ; СПб.: Сова. Владимир:ВКТ. 2008. 464 с.
3. **Вальтер Х.** Функциональная визуализация в психиатрии и психотерапии, М.: АСТ: Астрель: Полиграфиздат, 2010. 416 с.
4. **Варганов А.А., Чайванов Д.Б., Варганов А.В.** Локализация на скальпе проекций поверхностных структур мозга по атласу Тайлераха. — НИЦ «Курчатовский институт». 2011.
5. **Гаврилов Л.Р., Цирильников Е.М.** Фокусированный ультразвук в физиологии и медицине // Л.: Наука. 1980.
6. **Каркищенко Н. Н., Варганов А. А., Варганов А.В., Чайванов Д.Б.** Локализация проекций полей Бродмана коры головного мозга человека на поверхность скальпа // Биомедицина. 2011. № 3. С. 40-46.
7. **Каркищенко Н.Н., Чайванов Д.Б., Варганов А.А.** Об эффективности и безопасности ультразвуковой транскраниальной стимуляции головного мозга человека // Биомедицина. 2011. № 2. С. 4-18.
8. **Никитин С.С., Куренков А.Л.** Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. 2003.
9. **Пинчук Д.Ю.** Транскраниальные микрополяризации головного мозга: клиника, физиология. Человек. 2007. 496 с.
10. **Чайванов Д.Б., Чудина Ю.А.** Нейромодулятор как инструмент психофизиотерапии. “Инновационные технологии в медицине”, 26-28 октября Санкт-Петербург. 2011.
11. **Чайванов Д.Б., Каркищенко Н.Н.** Математическая модель биофизических процессов при транскраниальной микрополяризации // Биомедицина. 2011. № 3. С. 6-12.
12. **Хилл К., Бэмбер Дж., Г. тер Хаар.** Ультразвук в медицине. Физические основы применения. — М.: Физматлит. 2008.

## Choice of optimum technology of localisation transcranial neurostimulators on a human scalp

N.N. Karkischenko, D.B. Chayvanov, A.A. Vartanov

For the transcranial neurostimulation it is necessary to use the right method of placing electrodes on a scalp surface. In this work we've studied demanded precision of placing electrodes and technologies of placing electrodes on a scalp surface.

**Key words:** transcranial magnetic stimulation, transcranial electrostimulation, rhythmic electrostimulation, transcranial micropolarization, neuromodulation, localisation.