Д.В. Белик, Н.А. Дмитриев

Исследовательская биотехническая система стимуляции головного мозга с целью восстановления памяти при реабилитации послеинсультных больных

Аннотация

Представлена биотехническая система для проведения исследований по стимуляции коры головного мозга через рецепторные системы человека аудиовоздействием, световоздействием с изменением цвета воздействия, с одновременным воздействием на оба глаза, с разницей частотных воздействий, кратной ритмам головного мозга, а также через локальное воздействие магнитным полем с модуляциями частот воздействующего сигнала на нейронные поля коры головного мозга и гиппокампа. Представлены результаты апробации системы, исходя из которых, можно сделать вывод, что данную систему можно использовать для реабилитации и восстановления как долговременной памяти, так и кратковременной памяти больного, перенесшего инсульт.

Введение

В настоящее время в РФ показатель смертности от различных форм цереброваскулярных болезней (ЦВБ) занимает второе место по болезням системы кровообращения, а также общей смертности населения. За последние 15 лет стандартизированный коэффициент смертности на 100 тыс. человек от всех форм ЦВБ среди мужчин в возрасте 50 лет и старше составил 1353, среди женщин 1080. Лидирующие позиции по болезням ЦВБ занимают инсульт (26 % у мужчин и женщин) и инфаркт головного мозга (20,1 % у мужчин и 19,2 % у женщин). Людям, перенесшим инсульт или инфаркт головного мозга, требуется дальнейшая реабилитация в зависимости от тяжести перенесенного заболевания [1], [2].

Проблема реабилитации больного, перенесшего инсульт, в том числе проблема восстановления памяти, является актуальной задачей, требующей многофакторного подхода для ускорения процесса адаптации человека, перенесшего инсульт, к социальной среде и обществу.

Цель работы

Цель рассматриваемой работы – разработка исследовательской биотехнической системы стимуляции головного мозга с целью реабилитации послеинсультных больных.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- разработка блока свето- и цветовоздействия на рецепторную систему обоих глаз пациента с подачей различных частот воздействий на каждый из глаз. При этом разница этих частот должна быть приближена к альфа-, бета-, тета-, дельта-ритмам электрической активности головного мозга конкретного пациента;
- разработка блока с 8 каналами воздействий магнитными полями на кору головного мозга с амплитудой магнитной индукции от 1 до 50 мТл с возможностью регулирования частоты воздействий в диапазонах альфа-, бета-, тета-, дельта-ритмов головного мозга конкретного пациента;
- разработка программ воздействий на рецепторные системы – глаза и уши – и на нейронные поля коры головного мозга магнитным полем – как сочетанием всех типов воздействия, так и каждым по отдельности;
- техническая реализация исследовательской биотехнической системы стимуляции головного мозга с целью реабилитации послеинсультных больных и тестирование ее на здоровых добровольцах.

Материалы и методы

Была разработана биотехническая система стимуляции коры головного мозга через рецепторные системы человека аудиовоздействием, световоздействием с изменением цвета воздействия и через стимулирование нейронных полей изменяющимся магнитным полем с амплитудой индукции магнитного поля от 1 до 50 мТл, а также различными частотными модуляциями и девиациями воздействующей частоты в диапазоне от 0,1 до 100 Гц, что дает возможность восстановления как долговременной памяти – воздействием на нейронные поля головного мозга, так и кратковременной памяти – воздействием на нейроны гиппокампа больного, перенесшего инсульт.

При построении алгоритма стимуляции полей коры головного мозга впервые в мировой практике были использованы разночастотные воздействия на рецепторные системы, такие как глаза и уши, с изменением спектральных составляющих аудио-, цвето- и световоздействий совместно с использованием магнитных полей, что дает возможность стимулировать большой массив нейронов коры головного мозга и гиппокампа с разницей частот, приближенных к альфа-, бета-, тета-, дельта-ритмам головного мозга. Этот комбинированный способ дает возможность значительно усилить эффект воздействия малыми значениями воздействующих факторов. Магнитные излучатели расположены на голове вдоль всей коры головного мозга для стимулирования определенных ее зон магнитным полем с использованием как всех излучателей одновременно, так и с возможностью настройки индивидуального воздействия на каждом из них.

Известно, что магнитное поле улучшает микроциркуляторную и мягкую гипотензивную активность, обладает липокорригирующим, вегетостабилизирующим и адаптогенным действиями [3]-[5]. Кроме того, магнитное поле обладает максимальной проникающей способностью и поэтому непосредственно влияет на нейронные поля и сами нейроны головного мозга [6]. Для реализации применения магнитных воздействий в реабилитации пациентов, перенесших инсульт [7]-[11], а также моделей, имитирующих воздействие магнитного поля на нейрон [12]-[18], с учетом того, что нейронные структуры головного мозга в большей степени реагируют на частотную модуляцию генерируемых магнитных полей, чем на амплитуду магнитной индукции, были выработаны требования к созданию биотехнической системы, в соответствии с которыми были проработаны конструктив блока воздействия магнитным полем, размещение магнитных излучателей воздействия на поверхности головы с учетом диаграмм направленности магнитного излучения, а также были предложены различные частотные модуляции воздействующих магнитных полей, входящие в разработанные алгоритмы суммарных воздействий на рецепторные системы и нейроны головного мозга, в том числе гиппокампа.

Пример такого алгоритма предложен ниже.

Аудиовоздействие

- Частота сигнала 440 Гц, разница частот между излучаемыми сигналами, подаваемыми на каждое ухо, устанавливается равной определенному ритму головного мозга, выбирается тип импульса сигнала воздействия: синусоида, прямоугольный, треугольный или пилообразный.

Световоздействие

- Частота воздействия, выставляемая на обоих излучателях, соответствует ритму головного мозга.
- Разница частот между излучаемыми сигналами, подаваемыми на каждый глаз, устанавливается равной определенному ритму головного мозга.

Цветовоздействие

- В зависимости от стадии реабилитации должны устанавливаться цвета (красный, синий, зеленый или их сочетания) на левый и правый глаза отдельно врачом или ассистентом вручную.
- Последовательное включение всех комбинаций цветов на оба глаза.
- Последовательное включение всех комбинаций цветов на каждый глаз отдельно.

Воздействие переменными магнитными полями на нейроны головного мозга

Могут быть задействованы все излучатели магнитного поля или отдельные излучатели магнитного поля для воздействия на конкретные зоны коры головного мозга, определяемые в зависимости от зоны поражения головного мозга. Алгоритм работы может быть многовариантным. Например, выбираем форму сигнала воздействия: синусоида, прямоугольный, треугольный, пилообразный или пачка, состоящая из различных спектральных составляющих сигнала. Далее выбираем амплитуду, частоту или частотные модуляции сигнала воздействия. Частотная модуляция при воздействии магнитным полем на кору головного мозга позволяет многократно увеличивать эффективность стимуляции и площадь стимулированных областей коры головного мозга, а приближение частот воздействий к частотам альфа-, бета-, дельта- и тета-ритмов и вызываемые при этом физиологические эффекты позволяют предполагать широкие возможности использования такого метода для восстановления памяти у больных, перенесших инсульт, что может показать только широкое применение предлагаемой биотехнической системы в лечебной практике. При этом воздействия магнитным полем определяются в соответствии с ритмами головного мозга конкретного пациента, предварительно определенные по его энцефалограмме.

Всего в данной биотехнической системе возможна установка до 150 различных алгоритмов с применением аудио-, свето- и магнитных воздействий, разработанная по следующей функциональной схеме, представленной на *рис. 1а*. Время воздействия каждого из параметров системы определяется врачом-исследователем в зависимости от степени поражения структур головного мозга, с оценкой необходимой площади стимуляции конкретных зон головного мозга. Тем самым врач-исследователь должен выбрать приемлемые для конкретного пациента алгоритмы воздействий и оптимальный промежуток времени воздействия каждого фактора. После применения определенных алгоритмов воздействий определяется эффективность этих алгоритмов.

Внешний вид системы показан на *рис. 1б*.

Алгоритм работы врача-исследователя по оценке эффективности алгоритма суммарного воздействия по восстановлению памяти у пациента

- Первоначально перед стимуляцией снимаются параметры ЭЭГ и проводится тестирование испытуемого согласно методикам: «Память на числа», «Память на образы», «Определение кратковременной памяти», «Определение объема кратковременной зрительной памяти», тесту «Телевизор» (авторы М.В. Луткина и Е.К. Лютова), тесту «Определение оперативной зрительной памяти».
- Затем производим стимуляцию по заданным параметрам.
- Сразу же по окончании стимуляции производятся повторное снятие параметров ЭЭГ и тестирование испытуемого согласно методикам: «Память на числа», «Память на образы», «Определение кратковременной памяти», «Определение объема кратковременной зрительной памяти», тесту «Телевизор» (авторы М.В. Луткина и Е.К. Лютова), тесту «Определение оперативной зрительной памяти».
- По полученным данным проводим анализ степени эффективности восстановления памяти пациента до и после проведения стимуляции и возможности, при необходимости, многократного использования апробированного алгоритма.

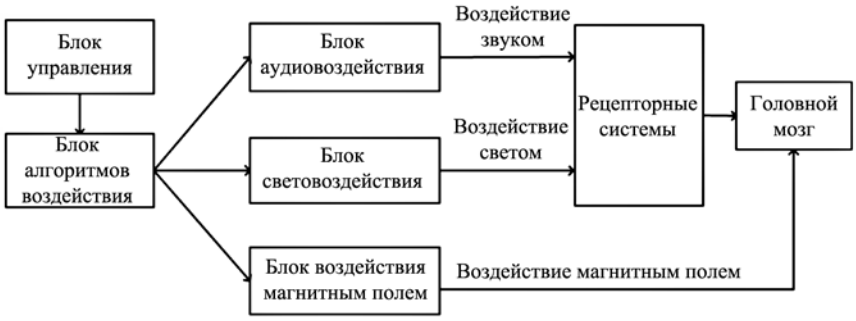
Контроль физиологического состояния пациента во время лечебного процесса оценивается по энцефалограммам и результатам тестирования до и после сеанса стимуляции.

Результаты

Для оценки величины амплитуды магнитной индукции были проведены измерения характеристик изменяющегося магнитного поля биотехнической системы с помощью тесламетра ТПУ-02. На *рис. 2-4* представлены графики, показывающие зависимость изменения амплитуды магнитного поля от расстояния до излучателя с различными формами сигнала воздействия на частотах 5, 50 и 100 Гц.

На графиках видно, что амплитуда магнитной индукции на расстоянии 20 мм и более достигает значений от 3,7 до 1 мТл в зависимости от частоты и формы воздействующего сигнала. Данный диапазон значений амплитуды магнитной индукции соответствует заданным требованиям для проведения стимуляции коры головного мозга человека.

Амплитуда магнитной индукции на расстоянии от 30 до 60 мм достигает значений от 1 до 0,1 мТл в зависимости от частоты и формы воздействующего сигнала. Данный диапазон значений амплитуды магнитной индукции соответствует заданным требованиям для проведения стимуляции гиппокампа головного мозга человека.



а) б)

Рис. 1. Структурная блок-схема (а), внешний вид системы на манекене (б)

В результате проведенных работ была разработана биотехническая система со следующими техническими параметрами:

- частотный диапазон световоздействий: от 0,1 до 60 Гц;
- частотный диапазон аудиовоздействий: от 20 до 2000 Гц, сила звука не более 70 дБ;
- цветовизуальное воздействие: красный (длина волны 620…760 нм), зеленый (длина волны 510…550 нм) и синий (длина волны 450…480 нм) цвета; сила света: интенсивность не менее 300…350 люкс (0,03…0,035 см·кд);
- частотный диапазон магнитной стимуляции: от 0,1 до 100 Гц;
- амплитуда магнитной индукции на расстоянии 2 см: от 1 до 2 мТл;
- различная форма воздействующего сигнала и его частотные модуляции.

Были проведены исследования по воздействию отдельными блоками системы на рецепторные системы человека [19].

Степень стимуляции памяти оценивалась по следующим методикам и тестам: методика «Память на числа», методика

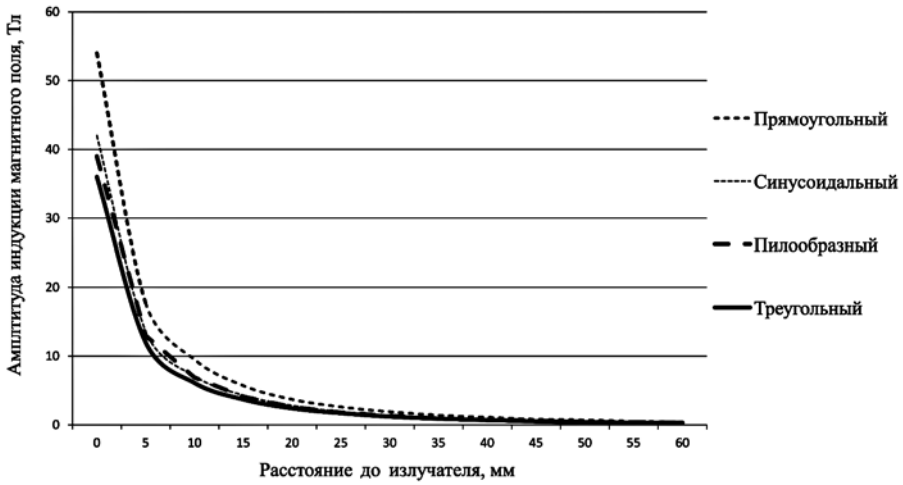


Рис. 2. Изменения магнитного поля в зависимости от расстояния до излучателя на частоте 5 Гц

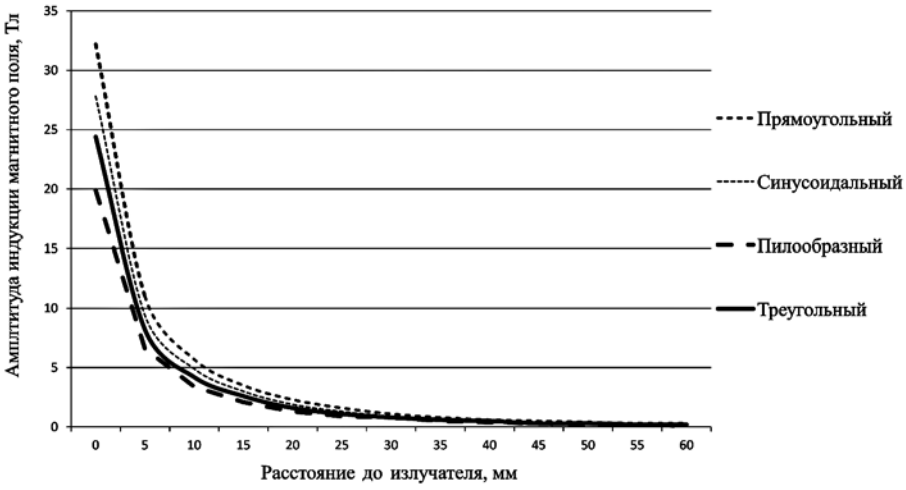


Рис. 3. Изменения магнитного поля в зависимости от расстояния до излучателя на частоте 50 Гц

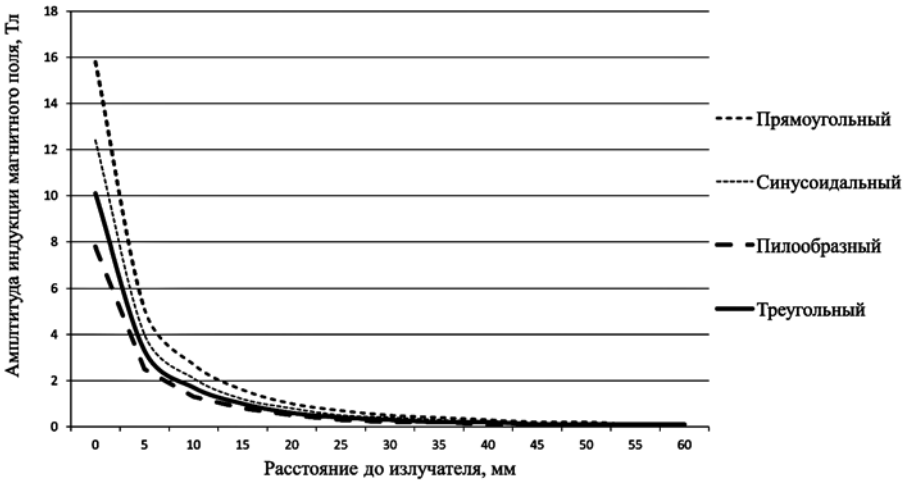


Рис. 4. Изменения магнитного поля в зависимости от расстояния до излучателя на частоте 100 Гц

«Память на образы», методика «Определение кратковременной памяти», методика «Определение объема кратковременной зрительной памяти», тест «Телевизор» (авторы М.В. Луткина и Е.К. Лютова), тест «Определение оперативной зрительной памяти».

При проведении предклинических испытаний системы на здоровых добровольцах с целью снижения риска применения ее для восстановления памяти послеинсультных больных были получены результаты, подтверждающие увеличение зон стимуляции коры головного мозга в 2…5 раз, что показывает положительную динамику в процессе реабилитации [19].

Заключение

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Создана биотехническая система для проведения исследований по стимуляции коры головного мозга через рецепторные системы человека аудиовоздействием, световоздействием с изменением цвета воздействия, с одновременным воздействием на оба глаза, с разницей частотных воздействий, приближенной ритмам головного мозга, а также через локальное воздействие переменным магнитным полем с модуляциями частот воздействующего сигнала на нейронные поля коры головного мозга.

2. Проведена оценка изменения величин параметров магнитного поля в зависимости от расстояния до излучателя при изменении формы сигнала.

3. Доказана возможность стимуляции гиппокампа с целью стимуляции кратковременной памяти в зависимости от расположения излучателя, на расстояниях от 30 до 60 мм, магнитным полем с амплитудой магнитной индукции от 0,1 до 1 мТл и различной формой сигнала.

4. Доказана возможность использования стимуляции для восстановления кратковременной и долговременной памяти, что может сократить продолжительность медицинской реабилитации пациента в послеинсультный период.

Список литературы:

1. *Самородская И.В., Андреев Е.М., Заратьянц О.В., Косивцова О.В., Какорина Е.П.* Показатели смертности населения старше 50 лет от цереброваскулярных болезней за 15-летний период в России и США // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2017. Т. 9. № 2. С. 15-24.
2. *Литвинова М.А.* Инсульт: современные тенденции развития и профилактическая работа врача // Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке». 2017. Т. 19. № 5. С. 105-107.
3. *Лукьянов В.Ф., Головачева Т.В.* Особенности влияния динамической магнитотерапии на микроциркуляцию при артериальной гипертонии // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2008. № 3. С. 17-19.
4. *Болотова Н.В., Райгородская Н.Ю., Храмов В.В.* Возможности магнитотерапии при лечении больных ожирением с использованием аппаратного комплекса «АМО-АТОС» – «ОГОЛОВЬЕ» // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2006. № 3. С. 24-26.
5. *Староверов А.Т., Жуков О.Б., Райгородский Ю.М.* Эффективность транскраниальной магнитотерапии в комплексном лечении алкогольного абстинентного синдрома // Журнал неврологии и психиатрии. 2008. № 6-1. С. 87-90.
6. *Шоломов И.И., Черевашенко Л.А., Супрунов О.В., Райгородский Ю.М.* Возможности транскраниальной магнитотерапии и цветоритмотерапии в восстановительном лечении ишемического инсульта // Журнал неврологии и психиатрии. 2009. № 7. С. 23-28.
7. *Nowak D.A., Grefkes C., Dafotakis M., Eickhoff S., Küst J., Karbe H., Fink G.R.* Effects of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the contralesional primary motor cortex on movement kinematics and neural activity in subcortical stroke // Arch. Neurol. 2008. Vol. 65. № 6. PP. 741-747.
8. *Boggio P.S., Alonso-Alonso M., Mansur C.G., Rigonatti S.P., Schlaug G., Pascual-Leone A., Fregni F.* Hand function improvement with low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the unaffected hemisphere in a severe case of stroke // Am. J. Phys. Med. Rehabil. 2006. Vol. 85. № 11. PP. 927-930.
9. *Mally J., Dinya E.* Recovery of motor disability and spasticity in post-stroke after repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) // Brain Res. Bull. 2008. Vol. 76. № 4. PP. 388-395.
10. *Khedr E.M., Etraby A.E., Hemeda M., Nasef A.M., Razek A.E.* Long-term effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on motor function recovery after acute ischemic stroke // Acta Neurol. Scand. 2010. Vol. 121. № 1. PP. 30-37.
11. *Yozbatiran N., Alonso-Alonso M., See J., Demirtas-Tatlidede A., Luu D., Motiwala R.R., Pascual-Leone A., Cramer S.C.* Safety and behavioral effects of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation in stroke // Stroke. 2009. Vol. 40. № 1. PP. 309-312.
12. *Белик Д.В.* Магнитобиосфера. – Новосибирск: ООО «Издательство «Сибпринт», 2016. С. 54-58.
13. *Abbott L.F., Kepler T.B.* Model neurons: From hodgkin-huxley to hopfield / In: Statistical mechanics of neural networks. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1990. PP. 5-18.
14. *Yi G.S., Wang J., Deng B., Wei X.L.* Morphology controls how hippocampal CA1 pyramidal neuron responds to uniform electric fields: A biophysical modeling study // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. № 1. P. 3210.
15. *Lv M., Wang C., Ren G., Ma J., Song X.* Model of electrical activity in a neuron under magnetic flow effect // Nonlinear Dynamics. 2016. Vol. 85. № 3. PP. 1479-1490.
16. *Lv M., Ma J.* Multiple modes of electrical activities in a new neuron model under electromagnetic radiation // Neurocomputing. 2016. Vol. 205. PP. 375-381.
17. *Xu Y., Ying H., Jia Y., Ma J., Hayat T.* Autaptic regulation of electrical activities in neuron under electromagnetic induction / / Scientific reports. 2017. Vol. 7. P. 43452.
18. *Belik D.V.* Equivalent electrochemical «wiring diagram» of a neuron / Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2016, 13th International Scientific-Technical Conference // IEEE. 2016. Vol. 1. PP. 420-422.
19. *Белик Д.В. и др.* Техническая система для стимуляции полей памяти мозга и гиппокампа в целях реабилитации в послеинсультный период // Биотехносфера. 2015. № 6 (42).

Дмитрий Васильевич Белик,
д-р техн. наук, генеральный директор,
ЗАО «СибНИИЦМТ»,
директор,
НИИМИ НГТУ,
Николай Алексеевич Дмитриев,
инженер,
ЗАО «СибНИИЦМТ»,
г. Новосибирск,
e-mail: nikolay19.05@mail.ru