



УДК 617.7-009

EDN XXNALK

<https://doi.org/10.33910/2687-1270-2023-4-4-475-482>

Влияние слабых низкочастотных магнитных полей на глазодвигательные мышцы

С. В. Сурма^{✉1}, А. Л. Горелик², Л. Е. Голованова^{3,4,5}, Д. С. Клячко⁴, Б. Ф. Щеголев¹

¹ Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6

² Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и неврологии им. В. М. Бехтерева МЗ РФ, 192019, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Бехтерева, д. 3

³ Санкт-Петербургский ГБУ здравоохранения «Городской гериатрический медико-социальный центр», 190103, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Фонтанки, д. 148

⁴ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи МЗ РФ, 190013, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, д. 9

⁵ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова МЗ РФ, 191015, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41

Сведения об авторах

Сергей Викторович Сурма, SPIN-код: 7059-0259, Scopus AuthorID: 36054909800, ResearcherID: AAC-8805-2022, ORCID: 0000-0003-4505-0995, e-mail: svs-infran@yandex.ru

Александр Леонидович Горелик, SPIN-код: 9998-3988, e-mail: gorelik_a@mail.ru

Лариса Евгеньевна Голованова, SPIN-код: 9957-0730, ORCID: 0000-0003-2577-7804, e-mail: lgolovanova@inbox.ru

Дмитрий Семенович Клячко, SPIN-код: 3639-0998, Scopus AuthorID: 57191095112, ResearcherID: B-8460-2016, ORCID: 0000-0001-5841-8053, e-mail: rip.tor@yandex.ru

Борис Федорович Щеголев, SPIN-код: 1239-3324, Scopus AuthorID: 6701534523, ResearcherID: J-6953-2018, ORCID: 0000-00015500-2837, e-mail: shcheg@mail.ru

Для цитирования: Сурма, С. В., Горелик, А. Л., Голованова, Л. Е., Клячко, Д. С., Щеголев, Б. Ф. (2023) Влияние слабых низкочастотных магнитных полей на глазодвигательные мышцы. *Интегративная физиология*, т. 4, № 4, с. 475–482. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2023-4-4-475-482> EDN XXNALK

Получена 1 ноября 2023; прошла рецензирование 24 декабря 2023; принята 25 декабря 2023.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Государственной программы РФ 47 ГП «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (2019–2030) (темы 63.1 и 63.2).

Права: © С. В. Сурма, А. Л. Горелик, Л. Е. Голованова, Д. С. Клячко, Б. Ф. Щеголев (2023). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния слабых низкочастотных магнитных полей на систему управления глазодвигательными мышцами человека. Определены первичные диапазоны частот магнитного поля, вызывающие магнитобиологические реакции в виде сокращения отдельных глазодвигательных мышц. Величина индукции используемых магнитных полей не превышала 300 мкТл, что позволяет отнести такие поля к классу безопасных для здоровья человека в соответствии с действующим законодательством. Воздействие на мотонейроны глаз внешним переменным магнитным полем вызывает со стороны конкретных глазодвигательных мышц реакции, идентичные их реакциям при естественном управлении мотонейронами. Нейроны управления, расположенные на других иерархических уровнях и вызывающие более сложные реакции, в которых принимают участие уже несколько глазодвигательных мышц, в данном исследовании не рассматривали. Получен диапазон частот для глазодвигательных мышц от 40 до 85 Гц. Поскольку каждый такой мотонейрон можно характеризовать своим «частотным диапазоном» внешнего магнитного управления, то знание частотных диапазонов всех мотонейронов конкретной системы управления позволяет говорить о возможности частичного внешнего управления такой системой. Проведенные исследования являются продолжением работ в области магнитобиологии слабых полей и направлены на создание современных альтернативных неинвазивных технологий в области практической медицины.

Ключевые слова: глазодвигательные мышцы, слабые низкочастотные магнитные поля, индукция магнитного поля, мотонейроны, неинвазивное воздействие, практическая медицина

Effect of weak low-frequency magnetic fields on oculomotorius muscles

S. V. Surma^{✉1}, A. L. Gorelik², L. E. Golovanova^{3,4,5}, D. S. Klyachko⁴, B. F. Shchegolev¹

¹ Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences,
6 Makarova Emb., Saint Petersburg 199034, Russia

² V. M. Bekhterev National Medical Research Center for Psychiatry and Neurology of the Russian Federation
Ministry of Health, 3 Bekhterev Str., Saint Petersburg 192019, Russia

³ Saint Petersburg State Medical Institution of Health Care 'City Geriatric Medical and Social Center',
148 Fontanka Emb., Saint Petersburg 190103, Russia

⁴ Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech of the Russian Federation Ministry
of Health, 9 Bronnitskaya Str., Saint Petersburg 190013, Russia

⁵ North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov of the Russian Federation Ministry
of Health, 41 Kirochnaya Str., Saint Petersburg 191015, Russia

Authors

Sergey V. Surma, SPIN: 7059-0259, Scopus AuthorID: 36054909800, ResearcherID: AAC-8805-2022, ORCID: 0000-0003-4505-0995, e-mail: sv-s-infran@yandex.ru

Alexander L. Gorelik, SPIN: 9998-3988, e-mail: gorelik_a@mail.ru

Larisa E. Golovanova, SPIN: 9957-0730, ORCID: 0000-0003-2577-7804, e-mail: lgolovanova@inbox.ru

Dmitry S. Klyachko, SPIN: 3639-0998, Scopus AuthorID: 57191095112, ResearcherID: B-8460-2016, ORCID: 0000-0001-5841-8053, e-mail: rip.tor@yandex.ru

Boris F. Shchegolev, SPIN: 1239-3324, Scopus AuthorID: 6701534523, ResearcherID: J-6953-2018, ORCID: 0000-0001-5500-2837, e-mail: shcheg@mail.ru

For citation: Surma, S. V., Gorelik, A. L., Golovanova, L. E., Klyachko, D. S., Shchegolev, B. F. (2023) Effect of weak low-frequency magnetic fields on oculomotorius muscles. *Integrative Physiology*, vol. 4, no. 4, pp. 475–482. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2023-4-4-475-482> EDN XXNALK

Received 1 November 2023; reviewed 24 December 2023; accepted 25 December 2023.

Funding: This study was supported by the State Program 47 GP 'Scientific and Technological Development of the Russian Federation' (2019-2030), topic 63.1 and 63.2.

Copyright: © S. V. Surma, A. L. Gorelik, L. E. Golovanova, D. S. Klyachko, B. F. Shchegolev (2023). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY-NC License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Abstract. The paper reports the results of the study on the influence of weak low-frequency magnetic fields on human vision. In particular, it determines the primary magnetic fields frequency ranges that cause magnetobiological reactions, i. e., individual contraction of oculomotorius muscles. The magnitude of magnetic fields did not exceed 300 μ T, which makes it possible to classify such fields as safe for human health according to the current legislation. Exposure of eye motoneurons to an external alternating magnetic field causes reactions on the part of specific oculomotorius muscles that are identical to their reactions under natural motoneuron control. Neurons located at other hierarchical levels show more complex reactions in which several oculomotorius muscles take part. The study found that the frequency of oculomotorius muscles ranges from 40 to 85 Hz. Each neuron can be characterized by its 'frequency range' of external magnetic control. Hence, the knowledge of frequency ranges for all neurons of a particular control system not only allows the possibility of external control of such a system, but also the possibility of its diagnosis by means of external noninvasive examination. The conducted research is another contribution into weak fields magnetobiology. It aims to create alternative noninvasive technologies for practical medicine.

Keywords: oculomotorius muscles, weak low-frequency magnetic fields, magnetic field induction, motoneuron, noninvasive impact, practical medicine

Введение

Занимаясь проблемой лечения у пациентов нейросенсорной тугоухости III и IV степени путем воздействия слабого переменного магнитного поля (протокол Комитета по этике Санкт-Петербургского научно-исследовательского института уха, горла, носа и речи № 4

от 05.12.2019), мы обнаружили эффект влияния такого поля на различные глазодвигательные мышцы. Задачи проведения работ в этом направлении состояли, во-первых, в подтверждении самого факта влияния магнитного поля на разные глазодвигательные мышцы, во-вторых, в определении диапазона частот, на котором наблюдались эти движения. В такой постановке

важно было обнаружить наличие самого эффекта воздействия, чтобы в дальнейшем планировать дизайн более детального эксперимента с учетом полученных частотных характеристик. Проведение подобных экспериментов очень важно для лечения разного рода глазодвигательных нарушений, например, нистагма.

Исследования влияния внешних электромагнитных полей на различные биологические объекты, включая человека, проводятся достаточно давно (Greenebaum, Barnes 2018). Среди многочисленных направлений таких исследований можно выделить направления, изначально ориентированные на использование слабых переменных магнитных полей. Преимуществом использования таких полей является малая величина индукции магнитного поля и низкие частоты. Величина индукции внешнего магнитного поля, обуславливающая возможные последствия такого воздействия, достаточно мала и не превышает 300 мкТл.

Система зрения является одной из основных афферентных систем в рамках целостного организма. Ее структура и основные составляющие широко известны (Volkov et al. 2012).

Определенный интерес в системе зрения представляет управление глазодвигательными мышцами. Большинство патологий или отклонений от нормального функционирования глазодвигательных мышц требует хирургического вмешательства. Однако, если проблема связана только с нейрональной частью системы управления глазодвигательными мышцами, то она потенциально может быть решена и неинвазивным способом. Одним из примеров такой патологии может служить нистагм, вызванный нарушением управления глазодвигательными мышцами.

Исследования влияния слабых низкочастотных магнитных полей на глазодвигательные мышцы основаны на высокой проникающей способности таких полей в биологические среды и возможности оказывать внешнее электромагнитное воздействие на нейроны, как наиболее чувствительные к таким воздействиям клетки, вследствие электромагнитной индукции (Tian et al. 2023). В таком случае возможна некоторая корректировка их импульсной активности внешним электромагнитным полем. В зависимости от местоположения конкретного нейрона и его роли в нейрональной системе управления возможны различные магнитобиологические эффекты (МБЭ), в том числе в системе управления сокращениями мышц.

Система управления глазодвигательными мышцами достаточно сложна, однако иерархи-

ческая структура ее организации позволяет на нижнем уровне иерархии выделить мотонейроны, непосредственно управляющие конкретными мышцами, вызывая простые реакции. Воздействуя на мотонейроны внешним переменным магнитным полем, мы вызываем со стороны конкретных глазодвигательных мышц реакции, идентичные их реакциям при естественном управлении мотонейронами. В этом случае можно говорить о возможности внешнего полевого управления мотонейронами. Нейроны, расположенные на других иерархических уровнях, вызывают более сложные реакции, в которых принимают участие несколько глазодвигательных мышц. Поскольку каждый нейрон можно характеризовать своим «частотным диапазоном» внешнего магнитного управления, то знание частотных диапазонов всех нейронов конкретной системы управления позволяет говорить о возможности внешнего управления такой системой.

В данной статье рассматриваются результаты исследования влияния слабых переменных магнитных полей на мотонейроны, управляющие глазодвигательными мышцами.

Исследования влияния слабых низкочастотных магнитных полей на глазодвигательные мышцы проводили отдельно для каждого глаза, чтобы избежать феномена конъюгации глаз.

Материалы и методы

В системе зрения человека выделяют шесть основных глазодвигательных мышц, сокращению которых соответствует шесть основных направлений взгляда, показанных на рис. 1.

Каждая конкретная глазодвигательная мышца управляется своим отдельным мотонейроном. На клеточном уровне нейроны выделяются своей повышенной чувствительностью к внешним электромагнитным полям, поэтому для осуществления воздействия на мотонейроны необходимо формирование внешнего переменного магнитного поля с определенными параметрами по частоте и интенсивности. Определение таких параметров и лежало в основе проводимых исследований.

Для проведения исследований была создана лабораторная установка, включающая генератор сигналов JDS6600, усилитель ТРА3116D2, модуль питания AC(100-240В) — DC(24В). В качестве индуктора использовали катушки диаметром 70 мм с медным проводом диаметром 0,5 мм и сопротивлением 10 Ом, вставленные в чаши классических накладных наушников для удобства использования. Измерение индукции



Рис. 1. Шесть основных направлений взгляда
(Источник: https://meduniver.com/Medical/ophtalmologia/anatomia_narugnix_mishc_glaza.html)

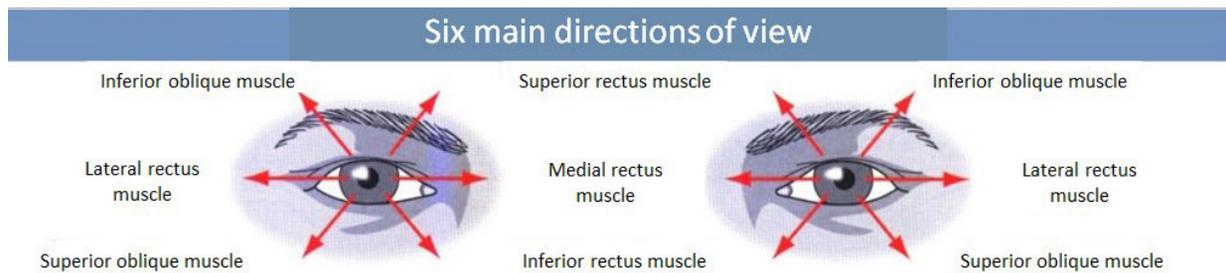


Fig. 1. Six main directions of gaze
(URL: https://meduniver.com/Medical/ophtalmologia/anatomia_narugnix_mishc_glaza.html)

магнитного поля осуществляли магнитометром *Fluxmaster* (Stefan Mayer Instruments, Dinslaken, Germany) (0,1 нТл — 200 мкТл с разрешением 0,1 нТл).

Методика исследования

Целью исследований являлось экспериментальное подтверждение самого факта влияния магнитного поля на глазодвигательные мышцы с определением диапазона частот, в котором наблюдалось это явление.

Работу осуществляли без формирования контрольной группы вследствие условий проведения исследований: расслабленность пациента, устремление взгляда вдаль, состояние равновесного покоя (первичное положение взора) глазных яблок, состояние равновесия без напряжения глазодвигательных мышц.

Человек, участвующий в исследованиях, усаживался в кресло и принимал расслабленную позу. Голову держал прямо, взгляд устремлял вперед, мышцы глаза не напрягал. Ему на голову надевали классические по форме накладные наушники, чаши которых располагались сбоку от глаз. Используемые наушники предварительно были модифицированы путем замены в чашах наушников стандартных катушек с мембраной на другие катушки с сопротивлением 10 Ом, без мембраны. После модификации наушники ста-

новились источником (индуктором) только переменного магнитного поля без акустического сигнала.

Параметры формируемого магнитного поля (частота, форма и интенсивность) задавали с помощью генератора сигналов. Изменение параметров осуществляли либо вручную, либо использовали режим работы генератора — «сви́пирование» (задание диапазона частот и времени его прохождения).

В процессе исследований подключали только одну из катушек и оценивали поочередную реакцию одного близлежащего глаза (правого или левого), чтобы избежать феномена конъюгации глаз.

Исследование сводилось к поиску частот и амплитуды сигналов формируемого переменного магнитного поля, реакция глаза на которые выражалась в изменении напряжения отдельных глазодвигательных мышц (рис. 1), что позволяет говорить о воздействии внешнего магнитного поля только на мотонейроны.

Оценку реакции глаза на воздействие внешнего переменного магнитного поля осуществляли по ощущениям самого испытуемого, который воспринимал натяжение одной из глазодвигательных мышц как смещение взгляда в одном из шести основных направлений.

Регистрация частот, на которых происходило такое ощущение, позволила определить частотный диапазон воздействия внешнего переменного магнитного поля на глазодвигательные мышцы.

Интенсивность используемого переменного магнитного поля не превышала допустимых величин (Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF... 2016) и не представляла никакой опасности для человека. Исследования проводили на группе клинически здоровых добровольцев в количестве 14 человек, подписавших информированное согласие на участие и соответствующих следующим критериям включения / исключения: возраст от 25 до 56 лет, отсутствие на момент исследования аномалий строения, острых и хронических заболеваний глаз и параокулярных образований, неврологических и психических заболеваний, диабета. Ухудшения здоровья после исследования ни в одном случае не наблюдали.

Результаты

Результаты исследований оформляли в табличном и графическом виде.

В таблице 1 приведены экспериментальные данные частот магнитного поля, вызывающих реакцию одной из глазодвигательных мышц в первой серии экспериментов.

На основе экспериментальных данных был построен линейный график частот, вызывающих

реакцию сокращения глазодвигательной мышцы (рис. 2).

На рисунке 3 представлен линейный график частот, вызывающих реакцию сокращения глазодвигательной мышцы в рамках другой серии эксперимента.

Представленные выше графики наглядно демонстрируют отсутствие частотных пересечений в реакциях сокращения различных глазодвигательных мышц одного глаза в разных экспериментах при воздействии слабого переменного магнитного поля.

Попытки наложения нескольких линейных графиков частот (как и самих частот) из разных экспериментов с целью обнаружения определенных корреляций, к сожалению, не приводят к значимым выводам, а лишь усложняют и затеняют реальную ситуацию.

Таким образом, полученные экспериментальные данные позволили, во-первых, подтвердить наличие физического эффекта воздействия внешнего переменного магнитного поля на простые реакции глазодвигательных мышц, во-вторых, определить границы диапазона действующих частот, который составил 40–85 Гц. Эффект воздействия был получен в 92% случаев.

Выводы

Получено экспериментальное подтверждение наличия магнитобиологических эффектов

Табл. 1. Частоты ЭМП, вызывающие реакцию сокращения глазодвигательной мышцы

Глазодвигательная мышца	Частоты воздействия ЭМП (Гц)
Верхняя прямая мышца	45,6 — 47,4 — 63,5 — 66,0 — 69,1 — 70,2 — 76,0 — 78,0 — 83,7
Нижняя косая мышца	43,0 — 58,6 — 59,9 — 80,8
Латеральная прямая мышца	42,0 — 47,0 — 59,5 — 61,0 — 62,9 — 67,0 — 69,4 — 73,9 — 81,0 — 82,4
Медиальная прямая мышца	64,0 — 70,5 — 76,5
Верхняя косая мышца	67,9 — 71,0 — 71,8 — 72,2 — 77,0
Нижняя прямая мышца	44,5 — 77,8 — 78,9 — 84,7

Table 1. EMF frequencies that cause oculomotorius muscle contraction

Type of oculomotorius muscle	EMF exposure frequencies (Hz)
Superior rectus muscle	45.6 — 47.4 — 63.5 — 66.0 — 69.1 — 70.2 — 76.0 — 78.0 — 83.7
Inferior oblique muscle	43.0 — 58.6 — 59.9 — 80.8
Lateral rectus muscle	42.0 — 47.0 — 59.5 — 61.0 — 62.9 — 67.0 — 69.4 — 73.9 — 81.0 — 82.4
Medial rectus muscle	64.0 — 70.5 — 76.5
Superior oblique muscle	67.9 — 71.0 — 71.8 — 72.2 — 77.0
Inferior rectus muscle	44.5 — 77.8 — 78.9 — 84.7

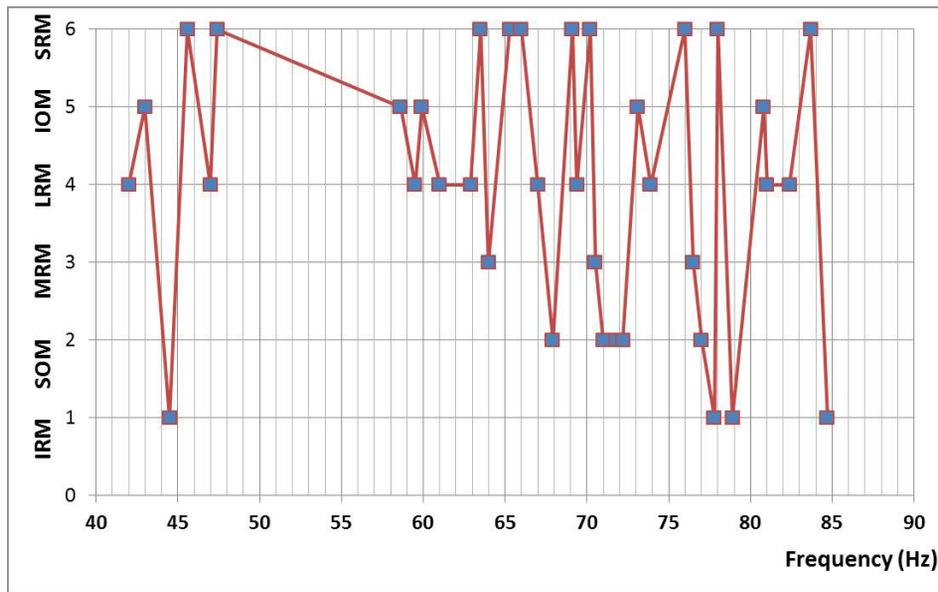


Рис. 2. Линейный график частот, вызывающих реакцию сокращения глазодвигательной мышцы в первой серии экспериментов. По оси ординат представлены глазодвигательные мышцы: SRM — верхняя прямая мышца (ВПМ), IOM — нижняя косая мышца (НКМ), LRM — латеральная прямая мышца (ЛПМ), MPM — медиальная прямая мышца (МПМ), SOM — верхняя косая мышца (ВКМ), IRM — нижняя прямая мышца (НПМ). По оси абсцисс отложены соответствующие частоты (Hz) сокращения глазодвигательных мышц

Fig. 2. Linear plot of frequencies causing oculomotorius muscle contraction in the first series of experiments. The ordinate axis represents oculomotorius muscles: SRM — superior rectus muscle, IOM — inferior oblique muscle, LRM — lateral rectus muscle, MPM — medial rectus muscle, SOM — superior oblique muscle, IRM — inferior rectus muscle. The corresponding frequencies (Hz) of oculomotorius muscles contraction are plotted on the abscissa axis

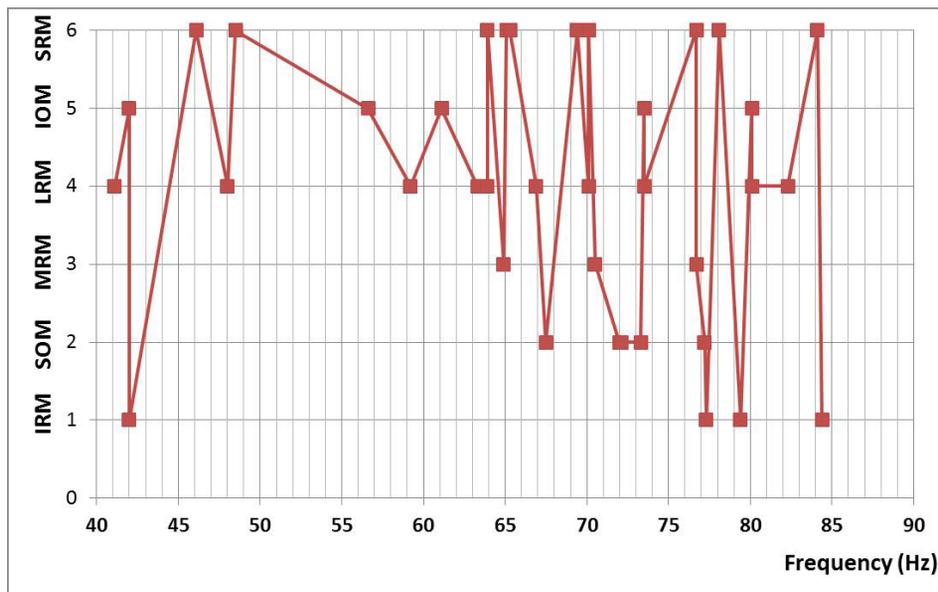


Рис. 3. Линейный график частот, вызывающих реакцию сокращения глазодвигательной мышцы в другой серии экспериментов. По оси ординат представлены глазодвигательные мышцы: SRM — верхняя прямая мышца (ВПМ), IOM — нижняя косая мышца (НКМ), LRM — латеральная прямая мышца (ЛПМ), MPM — медиальная прямая мышца (МПМ), SOM — верхняя косая мышца (ВКМ), IRM — нижняя прямая мышца (НПМ). По оси абсцисс отложены соответствующие частоты (Hz) сокращения глазодвигательных мышц

Fig. 3. Linear plot of frequencies causing oculomotorius muscle contraction response in another set of experiments. The ordinate axis represents oculomotorius muscles: SRM — superior rectus muscle, IOM — inferior oblique muscle, LRM — lateral rectus muscle, MPM — medial rectus muscle, SOM — superior oblique muscle, IRM — inferior rectus muscle. The corresponding frequencies (Hz) of oculomotorius muscles contraction are plotted on the abscissa axis

(МБЭ) воздействия внешних слабых низкочастотных магнитных полей на систему зрения в виде изменения реакции глазодвигательных мышц.

Предлагаемый внешний бесконтактный физический метод воздействия на глазодвигательные мышцы основан на возможности влияния слабого внешнего переменного магнитного поля на мотонейроны, управляющие сокращениями мышц глазного яблока. Поскольку такое воздействие ЭМП вызывает изменения натяжения глазодвигательных мышц, которые непосредственно (без промежуточных звеньев) управляются мотонейронами, вполне допустимо говорить об изменении импульсной активности нейрона, даже без ее непосредственной регистрации.

Отмечена возможность частичного управления мышцами глаза в реальном времени, что позволяет учитывать индивидуальные особенности пациента и повысить эффективность воздействия внешних ЭМП на конкретный нейрон.

Интенсивности используемых магнитных полей являются абсолютно безопасными для человека в рамках действующего законодательства.

Неинвазивный характер воздействия магнитных полей позволяет использовать их в практической медицине для лечения отдельных заболеваний, связанных с нарушением работы нейронов, например, нейросенсорных или нейромоторных заболеваний. Ярким примером таких заболеваний в системе зрения является нистагм.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Соответствие принципам этики

Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием людей, соответствуют этическим стандартам Комитета по этике Санкт-Петербургского научно-исследовательского института уха, горла, носа и речи, Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующим изменениям,

или сопоставимым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие.

Ethics Approval

All procedures performed in research involving human participants conformed to the ethical standards of the Ethics Committee of Saint-Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, and the 1964 Helsinki Declaration and its subsequent revisions or comparable ethical standards. Informed voluntary consent was obtained from each of the participants included in the study.

Вклад авторов

- a. Сурма Сергей Викторович — разработка и создание аппаратуры для воздействия низкочастотных магнитных полей, изложение результатов, разработка методики и проведение экспериментальных исследований;
- б. Горелик Александр Леонидович — разработка методики и проведение экспериментальных исследований;
- в. Голованова Лариса Евгеньевна — разработка методики и проведение экспериментальных исследований;
- г. Клячко Дмитрий Семенович — разработка методики и проведение экспериментальных исследований;
- д. Щеголев Борис Федорович — разработка и создание аппаратуры для воздействия низкочастотных магнитных полей, изложение результатов.

Author Contributions

- a. Sergey V. Surma — designed and developed equipment for exposure to low-frequency magnetic fields, presented the results, developed research methodology and conducted experiments;
- b. Alexander L. Gorelik — developed research of methodology and conducted experiments;
- c. Larisa E. Golovanova — developed research methodology and conducted experiments;
- d. Dmitry S. Klyachko — developed research methodology and conducted experiments;
- e. Boris F. Shchegolev — designed and developed equipment for exposure to low-frequency magnetic fields, presented the results.

References

- Greenebaum, B., Barnes, F. (2018) *Bioengineering and biophysical aspects of electromagnetic fields*. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 536 p. <https://doi.org/10.1201/9781315186580> (In English)
- Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 21 iyunya 2016 g. № 81 “Ob utverzhdenii SanPiN 2.2.4.3359-16 ‘Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k fizicheskim faktoram na rabochikh mestakh’” [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated June 21, 2016 No. 81 “On approval of SanPiN 2.2.4.3359-16 ‘Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace’ ”]. [Online]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420362948> (accessed 16.05.2023). (In Russian)
- Tian, H., Zhu, H., Gao, C. et al. (2023) System-level biological effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: an *in vivo* experimental review. *Frontiers in Neuroscience*, vol. 17, article 1247021. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1247021> (In English)
- Volkov, V. V., Somov, E. E., Danilichev, V. F. et al. (2012) *Glaznye bolezni. Osnovy oftal'mologii [Eye diseases. Fundamentals of ophthalmology]*. Moscow: Meditsina Publ., 552 p. (In Russian)