

## **Влияние «нулевого» магнитного и электростатического полей на психофизиологическое состояние человека**

Influence of "zero" magnetic and electrostatic fields on psychophysiological state of human

**В.Н. Бинги, В.А. Миляев, Р.М. Саримов, А.А. Заруцкий**

V.N. Binhi, V.A. Milyaev, R.M. Sarimov, A.A. Zarutskii

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, 119991, ул. Вавилова, 38*

*A.M. Prokhorov General Physics Institute RAS, 119991, Moscow, Vavilova St., 38*

В работе исследовано влияние «нулевого» магнитного и электростатического полей на психофизиологическое состояние 44 человек. Показано, что относительно короткое, 10–40 минут, пребывание в электростатическом поле величиной 500 В/м вызывает статистически достоверные изменения характеристик кратковременной памяти и образного мышления. Эффекты для некоторых тестов превосходят 20%, а эффекты при экспозиции в «нулевом» магнитном поле ( $\pm 1$  мкТл) достигают 10%. Установлено также, что в тестах на кратковременную память, на цвет и время распознавания букв эффекты статистически значимо различаются для испытуемых разных полов и имеют разнонаправленный характер. Также разнонаправлены были эффекты, вызываемые экспозицией в электрическом поле и нулевом магнитном поле. При совместном действии нулевого магнитного и электростатического поля эффекты для большинства тестов приблизительно равны сумме результатов для этих экспозиций в отдельности.

*Ключевые слова: биологические эффекты магнитных и электростатических полей, биогенный магнетит, магниторецепция, цветовосприятие.*

### *Введение*

Многие эксперименты свидетельствуют о значительных биологических эффектах низкочастотных, до 300 Гц, слабых, до 100–150 мкТл, электромагнитных полей (ЭМП). По некоторым данным [1,2] от 1.5 до 2% населения имеют повышенную чувствительность к электромагнитному полю, которая в англоязычной литературе описывается как EHS (syndrome of hypersensitivity to electricity — синдром гиперчувствительности к электричеству или СГЭ). СГЭ проявляется в головной боли, головокружении, беспокойном сне или сыпи на коже. В настоящее время пытаются определить объективные критерии гиперчувствительности человека к ЭМП [3,4]. Однако механизм СГЭ пока неизвестен, а люди, называющие себя гиперчувствительными, далеко не всегда сознательно могут регистрировать включение ЭМП [4]. Симптоматика проявлений СГЭ показывает, что наиболее восприимчивой к воздействию ЭМП является нервная система человека [5,6]. В [6] выделена роль электрических полей, рассмотрены негативные

эффекты на нервную систему низкочастотных и радиочастотных ЭМП, а также теплового нагрева. Эффекты низкоинтенсивных ЭМП, заведомо не вызывающих нагрева тканей, похожие на тепловые эффекты были обнаружены многими авторами. Так было обнаружено повышение уровня хитшоковых\* белков [7,8] и изменения в структуре хроматина [3,9,10] вследствие ЭМ экспозиции. Однако такого рода исследования проводятся либо на клеточных культурах, либо на легко выделяемых клетках, эпителиальных, лимфоцитах, фибробластах. Для нервной ткани подобные исследования затруднительны. К тому же при переходе от клеточного уровня к уровню нервной системы в целом магнитобиологические эффекты могут усиливаться. Поэтому большую роль в изучении воздействия низкочастотных ЭМП на человека играют эксперименты с измерением психофизиологических характеристик.

Отдельные работы в данной области показали, что экспозиция в ЭМП может приводить к угнетению высшей нервной деятельности человека, выраженному в ухудшении кратковременной памяти и внимания [11], в замедлении скорости реакции [12] и в изменении болевого порога [13,14]. В то же время подобные изменения наблюдают не всегда [15]. Также отмечены изменения интенсивности ритмов, наблюдаемых в ЭЭГ исследованиях, как в сторону возрастания, так и уменьшения, вследствие экспозиции человека в ЭМП [5,16,17]. Столь неоднозначные результаты свидетельствуют о том, что в формировании магнитобиологических эффектов важную роль играют сопутствующие факторы. В частности, экранирование магнитного поля (МП) в темноте приводило к увеличению порога болевой чувствительности у мышей [18], однако эффект пропадал на свету. Эмоциональное состояние испытуемого влияло на изменения проводимости кожи в экспериментах с вариациями МП, моделирующими те, с которыми сталкиваются космонавты на орбитальных космических станциях [19].

Кроме факторов неэлектромагнитной природы, возникновение магнитобиологических эффектов зависит от параметров ЭМП: частоты и амплитуды, постоянных магнитных [20] и электрических полей, а также их ориентации [21]. Наличие такого рода эффектов дает основание полагать, что, по крайней мере часть наблюдаемых биологических эффектов слабых ЭМП обусловлена действием ЭМП на мишени атомно-молекулярного масштаба. Наблюдение резонансо-подобных эффектов слабых МП с эффективными частотами, совпадающими с характерными частотами биологически значимых ионов и малых молекул, а также пропорциональность этих частот постоянному МП не может быть объяснена иначе, чем в связи с зеемановским расщеплением угловых атомно-молекулярных состояний. Воздействие «нулевого» МП, — в литературе для обозначения таких полей используются также термины «гипомагнитные условия» или «магнитный вакуум» ( $H \ll H_{\text{geo}}$ ), — приводит к снятию расщепления и образованию одного вырожденного терма вместо мультиплета. Это новое качественное состояние возникает для всех атомов и молекул, обладающих угловым моментом, независимо от их масс и зарядов. Таким образом, на «нулевое» МП отзываются все мишени, а не часть их, как было бы в случае переменного МП, что делает наблюдение биологического эффекта магнитного вакуума более вероятным [21].

Эффекты магнитного вакуума наблюдали, например, в [22]. В этой работе отмечали, что экранирование геомагнитного поля приводило к уменьшению стресс-индуцированной анальгезии у мышей. Примечательно, что эффекты зависели от того, каким образом были получены условия магнитного вакуума, металлическим экраном или компенсацией естественного геомагнитного поля при помощи противоположно направленного искусственного поля. Это обстоятельство содержит неявное указание на вовлеченность

---

\* Хитшоковые белки hsp27, hsp70 и др. обычно образуются в клетке в результате нагрева.

другого физического эффекта — эффекта Штарка — в формирование наблюдаемых изменений.

Мишенями МП в организме, помимо атомно-молекулярных систем, могут быть и более крупные субклеточные магнитные образования — нанокристаллы магнитных минералов, в частности магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) и маггемита ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Такие кристаллы окруженные липидными мембранами (магнитосомы), обнаружены во многих организмах от бактерий [23] до человека [24]. Установлено, что они имеют биогенное происхождение, т.е. образуются со временем в результате кристаллизации непосредственно в клеточной среде. Кристаллы магнетита размерами в среднем 50–70 нм могут образовывать большие конгломераты до 200 нм [25]. Содержание магнитосом сильно меняется от органа к органу [26] и в пределах одного органа. В тканях мозга человека содержание магнетита составляет в среднем 50 нг/г, меняется между отдельными структурами мозга и от человека к человеку [27]. Роль и механизмы возникновения такой вариации неизвестны.

Магнитосомы закрепленные в цитоскелете могут быть одной из причин чувствительности биологических систем к слабым магнитным полям и вариациям геомагнитного поля, поскольку энергия таких частиц в магнитном поле существенно больше энергии тепловых флуктуаций  $kT$ . Собственное МП частицы сильно зависит от ее ориентации. Поэтому поворот частицы может заметно изменить скорость реакций с участием свободных радикалов. Известно, что слабые переменные и постоянные МП могут приводить к поворотам таких частиц на угол до 2 радиан и изменять параметры распределения собственного МП вокруг частицы [28]. В частности, такой биологический компас вероятно используют мигрирующие животные в условиях, когда визуальное ориентирование затруднено [29], [30].

### *Методика экспериментов*

Для исследования природы мишеней МП в организме человека, проведена серия экспериментов с экспозицией в нулевом магнитном и электростатическом поле (ЭП). Система экспозиции состояла из четырех кольцевых катушек диаметром 1 м с расстоянием между ними 0.5 м (рис. 1). Количество витков в крайних кольцах 40, в средних — 26.5. Общее активное электрическое сопротивление 1.23 Ом. Неоднородность МП внутри системы не более 1 мкТл (Бинги и др., 2005). Ось системы была параллельна вектору геомагнитного поля. Производимое системой МП, равное по величине и направленное противоположно локальному геомагнитному полю, приводило к значительному уменьшению МП внутри системы. Две вертикально закрепленные сетки из медной проволоки размером 60х60 см, расположенные на расстоянии 60 см друг от друга, с размером ячейки 1 см, позволяли создавать в районе головы испытуемого контролируемое ЭП. По поверхности системы был установлен электростатический экран в виде аналогичной сетки с размером ячейки около 3 см. Расчетный коэффициент ослабления ЭП внутри системы превышал 100.

Магнитный вакуум достигали путем создания МП равного и противоположно направленного локальному геомагнитному полю величиной 41.5 мкТл. Использовали источник постоянного тока ТЕС-5020 и измеритель магнитной индукции ТМИ-01 (ИОФРАН) с точностью  $\pm 0.1$  мкТл. Электростатическое поле величиной 500 В/м создавали при помощи универсального источника питания УИП-2.

Эксперименты проводили с использованием четырех режимов экспозиции. В первом режиме ('плацебо') МП оставалось равным геомагнитному полю  $41.5 \pm 1$  мкТл. При подаче

на катушки постоянного тока достигался второй режим — режим ‘магнитного вакуума’ или ‘нулевого магнитного поля’ (НМП), с точностью  $\pm 1$  мкТл. Пластины, закрепленные по бокам от головы испытуемого, создавали горизонтальное ЭП величиной 500 В/м в третьем режиме. Последний, четвертый режим, заключался в совместном действии НМП и ЭП.\*

Сорок четыре добровольца в возрасте от 18 до 72 лет были случайным образом разделены на 4 группы соответственно по 8 мужчин и 3 женщины в каждой. В каждом эксперименте испытуемый 10 минут адаптировался к тестам (1 серия), затем 20 минут выполнял тесты в по-прежнему неизменных условиях для определения индивидуальных референсных значений измеряемых величин (2–3 серии), а затем 40 минут в одном из 4 режимов электромагнитной экспозиции (4–7 серии). В течение эксперимента испытуемые проходили тесты, в которых оценивались 1) кратковременная память на цвет, 2) скорость простой двигательной реакции и 3) образное мышление (время распознавания повернутых букв). В каждой серии испытуемый поочередно выполнял 3 теста.

Тест на кратковременную цветовую память проходил следующим образом. На экране монитора появлялось монохромное изображение в виде квадрата со стороной 1024 пикселей. Цвет задавали случайно из 16 миллионов возможных сочетаний отдельных цветовых компонентов с интенсивностями от 0 до 255. Изображение демонстрировали в течение 1 с. Затем испытуемому показывали изображение такого же квадрата, окраска которого была уже не монохромной, а представляла собой спектр цветов. Спектр демонстрировали в течение 3 с. За это время испытуемому надо было найти и указать на спектре цвет первоначального монохромного изображения. В тесте фиксировали разницу, далее по тексту — ошибку, между первоначальным цветом и цветом, указанным испытуемым. Ошибку определения цвета  $S$  вычисляли по формуле  $S = (r^2 + g^2 + b^2)^{1/2}$ , где  $r$ ,  $g$  и  $b$  — разности интенсивностей красного, зеленого и синего цветовых компонентов. Параллельно в тесте проводили измерения времени, затраченного на определение и указание цвета.

Поскольку результаты тестов в контрольных условиях сильно менялись от испытуемого к испытуемому, то измеряемую ошибку  $S_i$  в 4–7 сериях нормировали для каждого испытуемого на его индивидуальные референсные значения  $S_{(2-3)}$  (средняя величина для 2–3 серии). То же самое делали для другого измеряемого параметра, времени ответа. Далее для разных экспериментальных групп анализировали отношение ошибок  $S_i / S_{(2-3)}$  для цвета и отношение времени ответа  $T_i / T_{(2-3)}$ . В каждой серии проводилось 80 измерений ошибки цвета и времени ответа.

Заметим, что цветовосприятие заданного в монохромном квадрате цвета в общем отличается от восприятия этого же цвета в спектре из-за наличия рецептивных “on” и “off” зон в сетчатке глаза и в областях первичной обработки зрительной информации (при возбуждении “on” зон происходит угнетение восприятия, для “off” зон — наоборот). Поэтому изменение ошибки определения цвета под действием различных факторов может быть связано с изменением цветовосприятия. Однако поскольку монохромное изображение и спектр предъявлялись в одинаковых условиях, а полученные данные нормированы на индивидуальные референсные величины, то изменение (относительной) ошибки в определении цвета мы связываем с изменениями в цветовой памяти испытуемого, то есть в способности запоминать и сохранять в кратковременной памяти цветовые ощущения.

---

\*Использованные режимы электромагнитной экспозиции были существенно ниже норм, установленных действующими стандартами электромагнитной безопасности.

В тесте с измерением скорости простой двигательной реакции испытуемому на экране монитора в случайном месте предъявлялось изображение черного круга диаметром 50 пикселей. Время предъявления круга уменьшалось с 1с до 100мс. Иногда в круге появлялся знак в виде креста серого цвета. Задача испытуемого состояла в быстром нажатии клавиши мыши при появлении знака. В ходе эксперимента измеряли промежуток времени  $t$  между предъявлением изображения со знаком и двигательной реакцией испытуемого. В среднем в каждой серии проводили 20 измерений.

Тест с измерением времени распознавания повернутых букв был модифицирован из теста Р. Шепарда. Тест Шепарда используется для оценки образного мышления человека и состоит в оценке правильности распознавания предъявляемых испытуемому изображений букв. Буква иногда демонстрируется в нормальном положении, а иногда в зеркальном. Одновременно она может быть наклонена под углом, кратным 45 градусам от вертикальной оси. Испытуемому надо нажать на одну клавишу, если буква стандартного вида и другую, если буква показана в зеркальном варианте. По результатам этого теста и многих других экспериментов выяснилось, что образное мышление человека при распознавании букв использует не языковую систему, а систему, связанную с графическим распознаванием [31]. Модификация состояла в том, что испытуемому на экране монитора демонстрировали сразу 2 буквы: это по нашему мнению уменьшало количество ошибок, связанных с запоминанием клавиши ответа. Одна из демонстрируемых нами букв была “Б”, “Г”, или “Ч”, другая — её зеркальным отражением. Обе буквы одновременно были повернуты относительно вертикального положения под углом кратным 45 градусам. Задача испытуемого состояла в том, чтобы быстро найти букву в стандартном варианте и нажать на левую клавишу мыши, если она находилась слева, и правую если справа. В данном тесте измерялось время ответа. В каждой серии тест выполнялся 24 раза.

Оценку статистической значимости биологических эффектов для разных режимов экспозиции проводили с помощью многофакторного дисперсионного анализа (Factorial ANOVA). В качестве исследуемых факторов были выбраны следующие: ВОЗДЕЙСТВИЕ (4 режима экспозиции: плацебо, НМП, ЭП, НМП+ЭП), ПОЛ (2 группы: мужчины и женщины) и ВРЕМЯ (4 серии длительностью по 10 минут: 4-я, 5-я, 6-я и 7-я). Данные факторы выбраны исходя из анализа ранее полученных результатов (Бинги и др., 2005). Для сравнения отдельно взятого режима экспозиции с группой (‘плацебо’) использовали t-тест.

## *Результаты*

### *Тест на кратковременную память*

Результаты теста на кратковременную цветовую память показаны на рисунках 2, 3 и в таблицах 1, 2. Статистически значимо показано (табл. 1), что ошибка в определении цвета различна для групп разделенных гендерно и находящихся в разных условиях экспозиции ( $F_{(3, 13919)}=8.14^*$ ,  $p=0.000021$ ). Включение НМП приводило к снижению ошибки определения цвета у женщин в среднем на 5.5% ( $p<0.05$ ), а включение ЭП наоборот приводило к росту ошибок на 6.2% ( $p<0.05$ ). Одновременное действие НМП и ЭП вызывало, как видно из рисунка 2, суммирование эффектов с преобладанием действия ЭП, так что результат отличался от контрольной выборки меньше всего, на 2.9% ( $p>0.05$ ).

---

\*  $F_{(a, b)}$  — значение статистики Фишера,  $a$  — внутригрупповое число степеней свободы для данного вида дисперсии,  $b$  — общее число степеней свободы

Эффекты у мужчин имели в целом противоположный характер. В ЭП число ошибок уменьшалось на величину 1.9% ( $p>0.05$ ), а в НМП возрастало на 3.4% ( $p>0.05$ ). Снова, комбинированное действие сводилось приблизительно к сумме эффектов.

Измерение времени ответа в цветовом тесте показало схожую картину с ошибкой в определении цвета у обоих полов, однако из-за меньшей дисперсии и большей разницы в эффектах статистически значимыми были практически все из исследуемых видов дисперсий (табл. 1). Величина эффектов достигала 24% ( $p<0.000001$ ) увеличения времени ответа у женщин в ЭП и 8.8% ( $p<0.000001$ ) уменьшение в НМП.

#### *Тест на образное мышление (распознавание букв)*

Нахождение в НМП и ЭП статистически значимо замедляло время распознавания букв ( $F_{(3,3634)}=21.30$ ,  $p<0.000001$ , табл. 1), причем влияния воздействий были статистически значимо различными для мужчин и женщин ( $F_{(3,3634)}=8.87$ ,  $p=0.000007$ ). Так для женщин почти 20% замедление распознавания происходило за время одной серии после включения НМП и прекращалось через 30–40 минут (рис. 4). В условиях совместного действия с ЭП эффект сохранялся на всем протяжении эксперимента. Для мужчин было обнаружено замедление распознавания букв при воздействии ЭП на 7.9% ( $p<0.0001$ ) и совместном воздействии с НМП на 8.9% ( $p<0.000001$ ), причем нахождение отдельно в НМП к значимым эффектам у мужчин не приводило.

#### *Тест на измерение времени реакции*

В тесте с измерением скорости простой двигательной реакции для эффектов разных экспозиций были получены результаты на грани статистической достоверности ( $F_{(3,3644)}=2.61$ ,  $p=0.049975$ , табл. 4). Время реакции у мужчин в условиях воздействия в режимах с ЭП уменьшалась на 2.8% ( $p<0.05$ ) и 3.3% ( $p<0.01$ , табл. 5). У женщин время реакции при воздействии НМП увеличивалось на 5.3% ( $p<0.05$ ).

Результаты дисперсионного анализа для исследуемых факторов ВОЗДЕЙСТВИЕ, ПОЛ, ВРЕМЯ по всем трем тестам представлены в табл. 1. Три из четырех сравнений были статистически значимы для данных, разделенных по факторам ВОЗДЕЙСТВИЕ и ВОЗДЕЙСТВИЕ\*ПОЛ. Фактор ВРЕМЯ оказался наименее значимым. Таким образом, в течение 40 минут после включения режимов электромагнитных экспозиций не было обнаружено статистически значимой динамики изменений эффектов. В то же время статистически значимо показано, что для большинства тестов результаты для групп плацебо, НМП, ЭП или НМП+ЭП не являются выборкой из одной группы. То же самое характерно для групп разделенных гендерно.

В таблице 2 показаны объединенные результаты изменения в процентах для разных групп, по сравнению с контрольной группой. Все ответы для каждого теста у групп, находившихся в разных условиях в НМП, в ЭП и в условиях совместного действия НМП и ЭП сравнивались с группой 'плацебо', отдельно для мужчин и женщин. Из таблицы видно, что нахождение в НМП у мужчин не приводило к значимым изменениям в ответах по всем трем тестам, однако у женщин по всем тестам были значимые отличия от контроля. Причем эффекты разнонаправлены: замедление скорости реакции и образного мышления сопровождается улучшением памяти на цвет. Картина меняется при воздействии ЭП, где у женщин в тесте на кратковременную цветовую память замедление ответов достигало 24% и сами ответы были менее точными. У мужчин в условиях ЭП также наблюдаются разнонаправленные эффекты для разных тестов, однако они не превышают 8%. При совместном действии НМП и ЭП результаты для большинства тестов

приблизительно равны сумме результатов для НМП и ЭП экспозиций в отдельности. Это свидетельствует о возможно разной природе рецепторов МП и ЭП.

### *Выводы*

Результаты цветового теста схожи с полученными нами ранее результатами [32]. В предварительных экспериментах в гипомагнитных условиях наблюдались небольшие улучшения в кратковременной памяти на цвет у женщин. В настоящей работе эффекты у женщин были значимыми. Ухудшение кратковременной памяти у мужчин в гипомагнитных условиях наблюдались как в предварительных экспериментах, так и в данной работе.

Полученные данные в целом не противоречат гипотезе о вовлеченности магнитосом в формирование магнитобиологических эффектов. Однако стоит обратить внимание на роль электростатических полей, которые, судя по результатам, могут быть основным источником невоспроизводимости биологических эффектов при воздействии слабых низкочастотных электромагнитных полей. Вследствие схожести результатов совместного действия НМП и ЭП и результатов аддитивной суммы этих воздействий по отдельности логично предположить, что биологические рецепторы магнитных и электрических полей имеют разную природу. К первым, как уже было отмечено, можно отнести магнитосомы, ко вторым — ДНК, белки, мембраны или другие молекулы или органеллы, имеющие электрический заряд или неоднородное распределение заряда по молекуле.

Значительные отличия результатов при тестировании мужчин и женщин, как в НМП, так и в ЭП, говорит о том, что содержание рецепторов магнитного и электрического полей может зависеть от пола. В то же время, размер экспериментальных групп женщин, всего по 3 человека в каждом из режимов экспозиции, недостаточен для окончательных выводов. Гендерные отличия ранее наблюдали, например в [33].

В отношении возможной обусловленности магнитобиологических эффектов присутствием магнитосом, интересно отметить следующее. Вообще говоря, большее содержание магнитосом в гиппокампе по сравнению с мозжечком [27] должно приводить к большим эффектам в тесте на кратковременную память, нежели в тесте на скорость реакции, поскольку гиппокамп и мозжечок ответственны соответственно за память и координацию движений [34]. Именно такое соотношение эффектов наблюдается в наших экспериментах.

Помимо гипотетической вовлеченности частиц магнетита в рецепцию магнитных полей организмом человека, их наличие в клетках головного мозга рассматривают как одну из вероятных причин болезней Паркинсона, Альцгеймера и других нейродегенеративных заболеваний [35]. Такая связь вполне реальна, поскольку собственное МП магнитосом вблизи их поверхности довольно велико, до 0.2 Тл, и скорость биохимических реакций с участием свободных радикалов в клетках с магнитосомами существенно изменена [28]. С другой стороны, неясно, могут ли фоновые электромагнитные поля влиять на развитие нейродегенеративных заболеваний. Поэтому исследование влияния ЭМП на мозговую активность и поведение магнитных наночастиц является актуальной задачей.

Грант РФФИ № 04-04-97298.

### *Литература*

[1] Rea W.J., Pan Y., Fenyves E.J., Sujisawa I., Suyama H., Samadi N., Ross G. Electromagnetic Field Sensitivity. *J Bioelectricity*, 10:241-256, 1991.

- [2] Hillert L., Berglind N., Arnetz B.B., Bellander T. Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey. *Scand J Work Environ Health*. Feb;28(1):33-41, 2002.
- [3] Belyaev I.Y., Hillert L., Protopopova M., Tamm C, Malmgren L.O.G., Persson B.R.R., Selivanova G., Harms-Ringdahl M. 915 MHz Microwaves and 50 Hz Magnetic Field Affect Chromatin Conformation and 53BP1 Foci in Human Lymphocytes From Hypersensitive and Healthy Persons. *Bioelectromagnetics*, 26:173-184, 2005.
- [4] Mueller C.H., Krueger H., Schierz C. Project NEMESIS: Perception of a 50 Hz Electric and Magnetic Field at Low Intensities (Laboratory Experiment). *Bioelectromagnetics* 23:26-36, 2002.
- [5] Cook C.M., Thomas A.W., Prato F.S. Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: a review of recent studies. *Bioelectromagnetics*, 23(2): 144–57, 2002.
- [6] Saunders R.D., McCaig C.D. Developmental Effects of Physiologically Weak Electric Fields and Heat: An Overview. *Bioelectromagnetics*, Suppl. 7:S127-S132, 2005.
- [7] Tokalov S.V., Gutzei H.O. Weak electromagnetic fields (50 Hz) elicit a stress response in human cells. *Environ Res.*, 94(2):145-51, 2004.
- [8] Lin H., Han L., Blank M., Head M., Goodman R. Magnetic field activation of protein-DNA binding. *J Cell Biochem.*, 70(3):297-303, 1998.
- [9] Sarimov, R., Malmgren, L., Markova, E., Persson, B., and Belyaev, I. Y. Non-thermal GSM microwaves affect chromatin conformation in human lymphocytes similar to heat shock. *IEEE Transactions in Plasma Science* 32(4): 1600-1608, 2004.
- [10] Shckorbatov Y.G., Shakhbazov V.G., Rudenko A.O. Modification of electrokinetic properties of nuclei in human buccal epithelial cells by electric fields. *Bioelectromagnetics.*, 22(2):106-11, 2001.
- [11] Preece A.W., Wesnes K.A., Iwi G.R. The effect of a 50 Hz magnetic field on cognitive function in humans. *Int J Radiat Biol* 74(4): 463–70, 1998.
- [12] Whittington C.J., Podd J.V., Rapley B.R. Acute Effects of 50 Hz Magnetic Field Exposure on Human Visual Task and Cardiovascular Performance. *Bioelectromagnetics* 17(2): 131–7, 1996.
- [13] Ghione S., Del Seppia C., Mezzasalma L., Emdin M., Luschi P. Human head exposure to a 37 Hz electromagnetic field: effects on blood pressure, somatosensory perception, and related parameters. *Bioelectromagnetics*. Apr;25(3):167-75, 2004.
- [14] Shupaka N.M., Prato F.S., Thomas A.W. Human exposure to a specific pulsed magnetic field: effects on thermal sensory and pain thresholds. *Neuroscience Letters* 363: 157–162, 2004
- [15] Podd J., Abbott J., Kazantis N., Rowland A. Brief exposure to a 50 Hz, 100 microT magnetic field: effects on reaction time, accuracy, and recognition memory. *Bioelectromagnetics* 23(3): 189–95, 2002.
- [16] Cook C.M., Thomas A.W., Keenlside L., Prato F.S. Resting EEG effects during exposure to a pulsed ELF magnetic field. *Bioelectromagnetics*. Jul;26(5):367-76, 2005.
- [17] Ghione S, Seppia CD, Mezzasalma L, Bonfiglio L. Effects of 50 Hz electromagnetic fields on electroencephalographic alpha activity, dental pain threshold and cardiovascular parameters in humans. *Neurosci Lett*. Jul 1-8;382(1-2):112-7, 2005.
- [18] Koziak A.M., Desjardins D., Keenlside L.D., Thomas A.W., Prato F.S. Light alters nociceptive effects of magnetic field shielding. *Bioelectromagnetics*, Jan;27(1):10-5, 2006.
- [19] Del Seppia C. Mezzasalma L., Messerotti M., Cordelli A., Ghione S. Simulation of the geomagnetic field experienced by the International Space Station in its revolution around the Earth: Effects on psychophysiological responses to affective picture viewing, *Neuroscience Letters*, article in press, 2006.



- [20] Blackman CF, Benane SG, Rabinowitz JR, House DE, Joines WT. A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. *Bioelectromagnetics*, 6(4):327-37, 1985.
- [21] Бинги, В.Н. Магнитобиология: эксперименты и модели. М., МИИТА, 2002.
- [22] Choleris E., Del Seppia C., Thomas A.W., Luschi P., Ghione G., Moran G.R., Prato F.S. Shielding, but not zeroing of the ambient magnetic field reduces stress-induced analgesia in mice. *Proc Biol Sci*. 269(1487):193-201, 2002.
- [23] Blakemore, R. P. Magnetotactic bacteria. *Science* 19, 377-379, 1975
- [24] Kirschvink J.L., Kobayashi-Kirschvink A., Woodford B. J. Magnetite biomineralization in the human brain. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89(16), p. 7683–7687, 1992.
- [25] Mikhaylova A., Davidson M., Toastmann H., Channell J. E. T., Guyodo Y., Batich C. and Dobson J. Detection, identification and mapping of iron anomalies in brain tissue using X-ray absorption spectroscopy *J. R. Soc. , Interface* doi:10.1098/rsif.2004.0011, 2004.
- [26] Grassi-Schultheiss P.P., Heller F., Dobson J. Analysis of magnetic material in the human heart, spleen and liver. *Biometals*. Oct;10(4):351-5, 1997.
- [27] Schultheiss-Grassi P.P., Dobson J. Magnetic analysis of human brain tissue. *BioMetals*, 12, p. 67–72, 1999.
- [28] Binhi V.N, Chernavskii D.S. Stochastic dynamics of magnetosomes in cytoskeleton. *Europhysics Lett.*, 70(6), p. 850–856, 2005.
- [29] Бинги В.Н. Стохастическая динамика магнитных наночастиц и механизм биологической ориентации в геомагнитном поле. *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*, 6: 23-27, 2005.
- [30] Wiltschko W., Munro U., Wiltschko R., Kirschvink J.L. Magnetite-based magnetoreception in birds: the effect of a biasing field and a pulse on migratory behavior. *J Exp Biol*. 205(Pt 19):3031–7, 2002.
- [31] Пинкер С. Язык как инстинкт. УРСС, Москва, 2004.
- [32] Бинги В.Н., Заруцкий А.А., Капранов С.В., Котельников С.Н., Миляев В.А., Саримов Р.М. Метод исследования влияния “магнитного вакуума” на цветовую память человека. *Радиационная биология /Радиоэкология*, 45(4), с. 451–456, 2005.
- [33] Graham C., Sastre A., Cook M.R., Gerkovich M.M. Nocturnal magnetic field exposure: gender-specific effects on heart rate variability and sleep. *Clinical Neurophysiology* 111, 1936-1941, 2000.
- [34] Николс Д.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Д., Фукс П.А. От нейрона к мозгу. УРСС, Москва, 2003.
- [35] Hautot D., Pankhurst Q.A., Khan N., Dobson J. Preliminary evaluation of nanoscale biogenic magnetite in Alzheimer's disease brain tissue. *Proc Biol Sci*, 270 Suppl 1:S62-4, 2003.

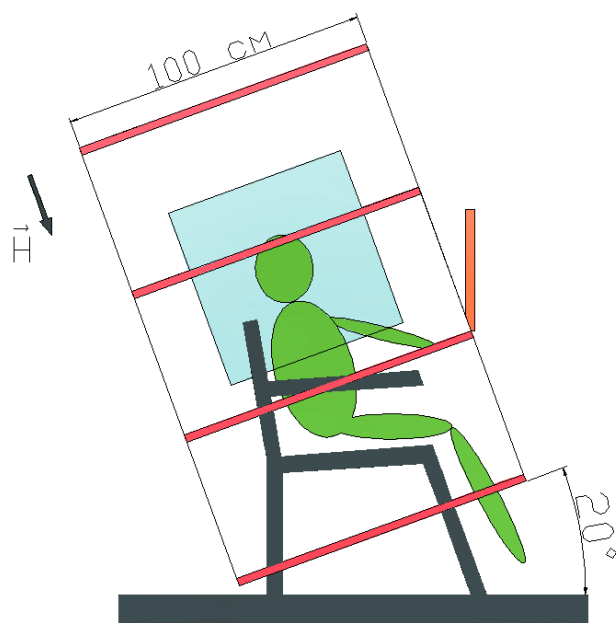


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

к статье В.Н. Бинги, В.А. Миляев, Р.М. Саримов, А.А. Заруцкий “Влияние «нулевого» магнитного и электростатического полей на психофизиологическое состояние человека”

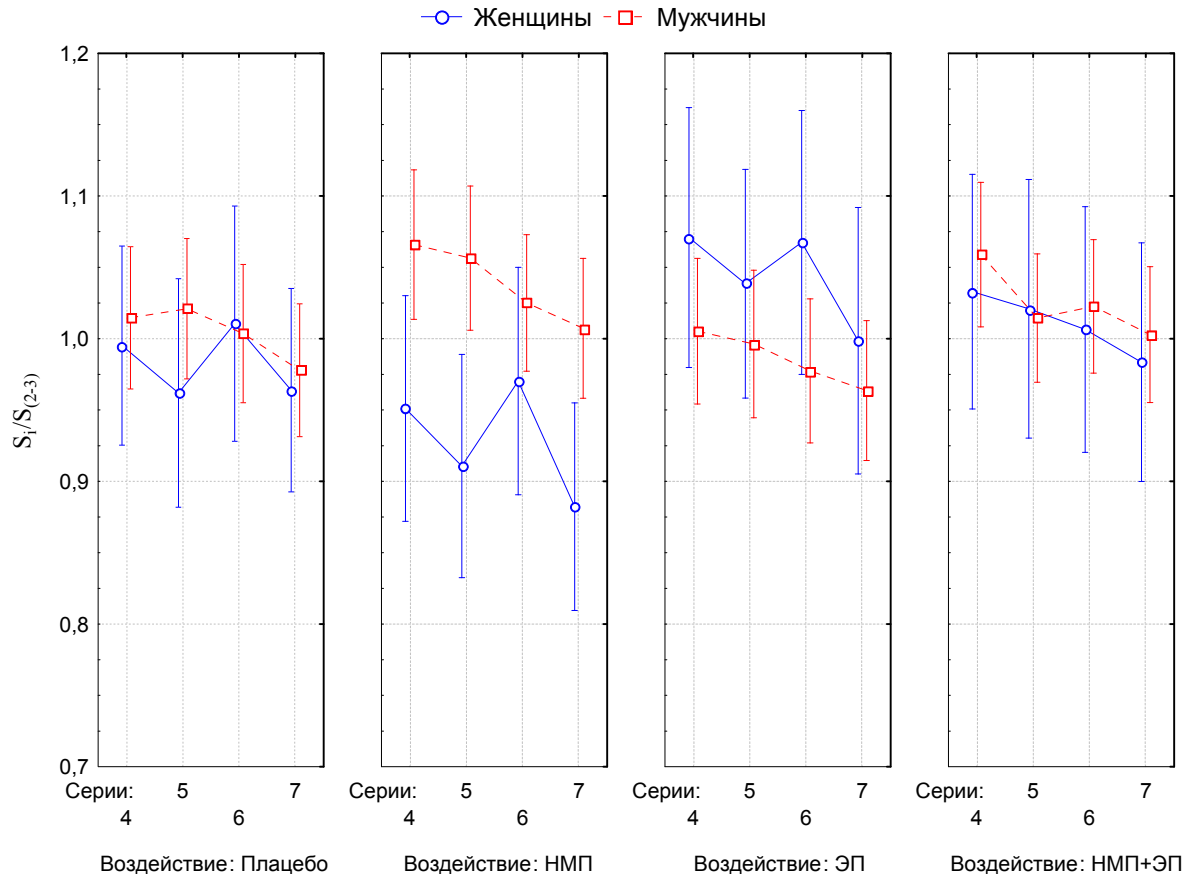


Рис. 2. Воздействие нулевого магнитного поля и электростатического поля на динамику изменения ошибки определения цвета в “цветовом” тесте.

к статье В.Н. Бинги, В.А. Миляев, Р.М. Саримов, А.А. Заруцкий “Влияние «нулевого» магнитного и электростатического полей на психофизиологическое состояние человека”

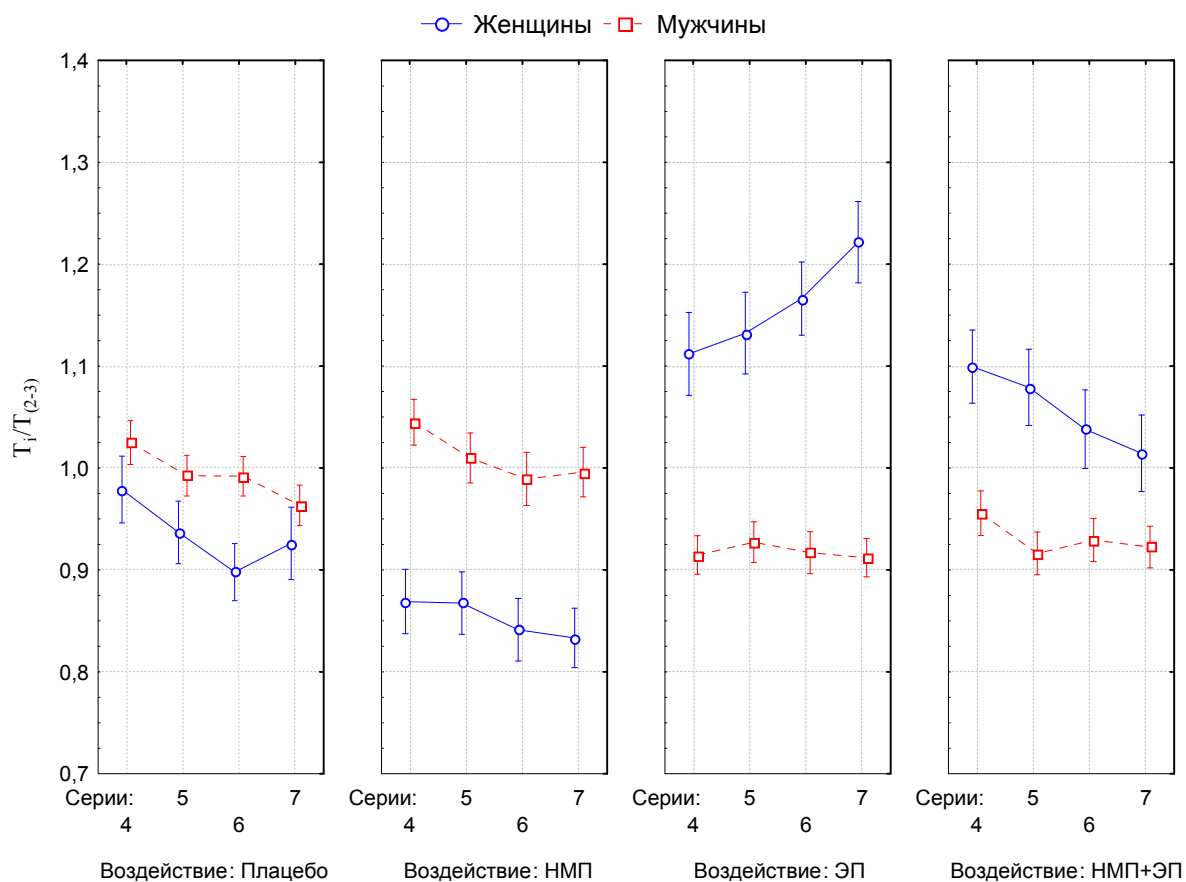


Рис. 3. Воздействие нулевого магнитного поля и электростатического поля на динамику изменения времени ответа в “цветовом” тесте.

к статье В.Н. Бинги, В.А. Миляев, Р.М. Саримов, А.А. Заруцкий “Влияние «нулевого» магнитного и электростатического полей на психофизиологическое состояние человека”

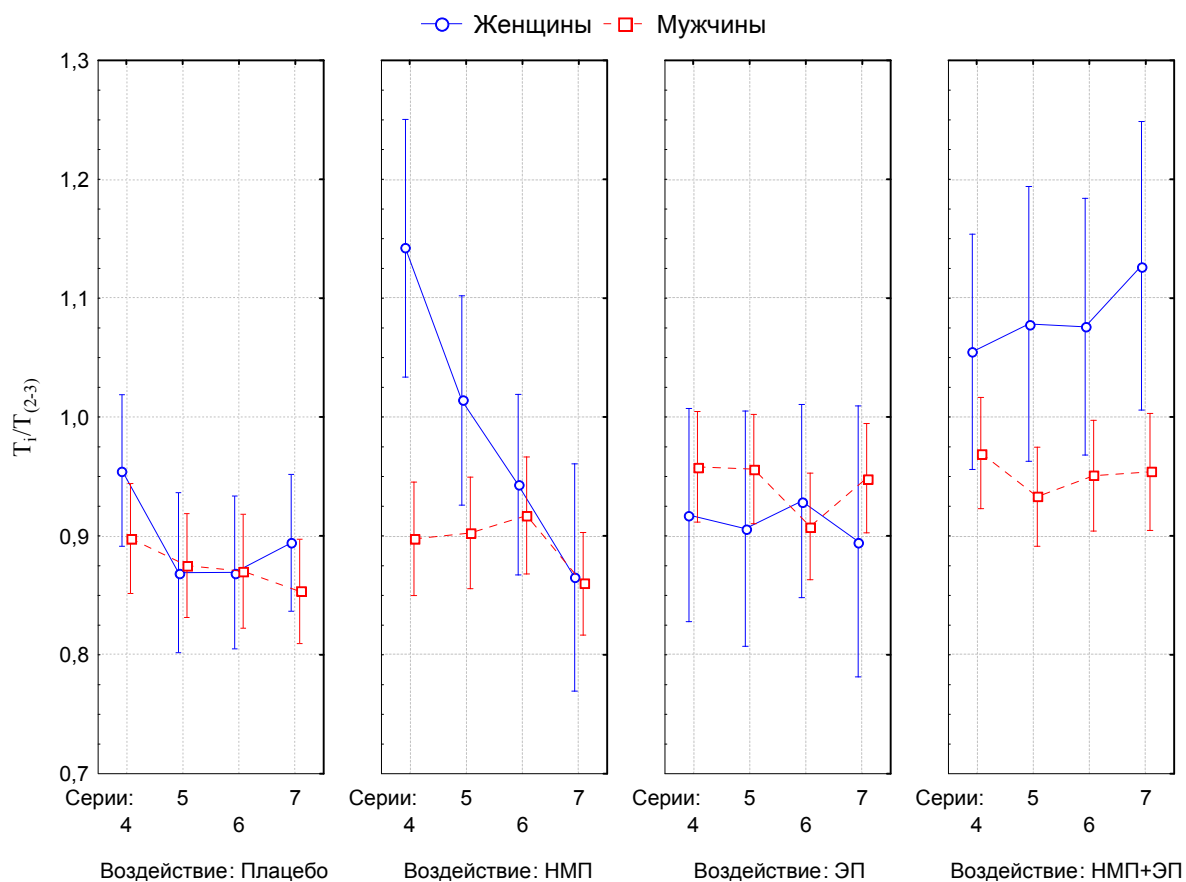


Рис. 4. Воздействие нулевого магнитного поля и электростатического поля на динамику изменения времени ответа в тесте с измерением времени распознавания букв.

к статье В.Н. Бинги, В.А. Миляев, Р.М. Саримов, А.А. Заруцкий “Влияние «нулевого» магнитного и электростатического полей на психофизиологическое состояние человека”

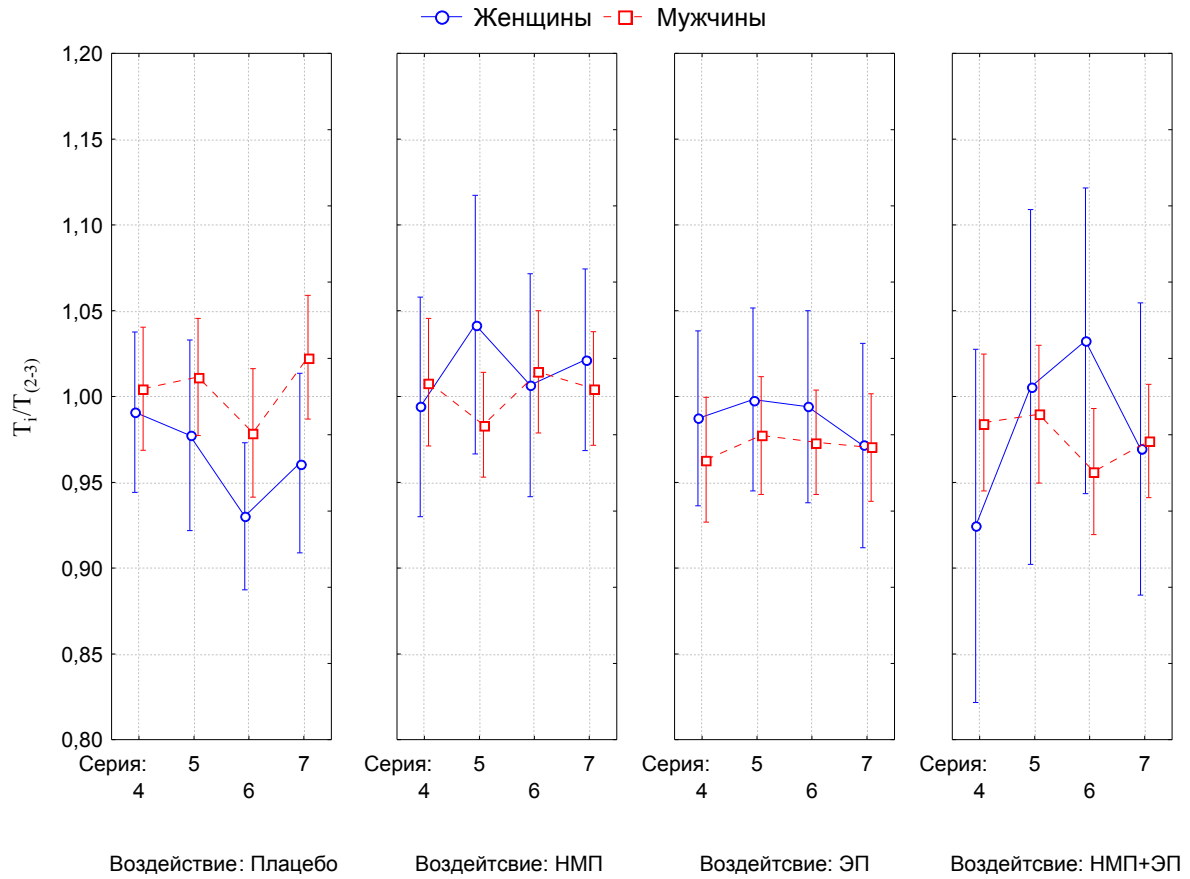


Рис. 5. Воздействие нулевого магнитного поля и электростатического поля на динамику изменения времени ответа в тесте с измерением времени простой двигательной реакции.

к статье В.Н. Бинги, В.А. Миляев, Р.М. Саримов, А.А. Заруцкий “Влияние «нулевого» магнитного и электростатического полей на психофизиологическое состояние человека”

Вид дисперсии	Буквенный тест (разница во времени)	Цветовой тест		Тест на скорость реакции (разница во времени)
		разница во цвете	разница во времени	
ВОЗДЕЙСТВИЯ	<b>F(3, 3634)= 21.30</b> <b>p=0.000000</b>	F(3, 13919)= 1.87 p=0.131705	<b>F(3, 13919)= 75.4</b> <b>p=0.000000</b>	<b>F(3, 3644)= 2.61</b> <b>p=0.049975</b>
ВОЗДЕЙСТВИЯ *ВРЕМЯ	F(9, 3634)= 1.74 p=0.074318	F(9, 13919)= 0.10 p=0.999582	F(9, 13919)= 1.0 P=0.397985	F(9, 3644)= 0.71 p=0.697065
ВОЗДЕЙСТВИЯ*ПОЛ	<b>F(3, 3634)= 8.87</b> <b>p=0.000007</b>	<b>F(3, 13919)= 8.14</b> <b>p=0.000021</b>	<b>F(3, 13919)= 295.1</b> <b>p=0.000000</b>	F(3, 3644)= 2.19 p=0.086761
ВОЗДЕЙСТВИЯ*ВРЕМЯ*ПОЛ	F(9, 3634)= 1.82 p=0.059722	F(9, 13919)= 0.22 p=0.992047	<b>F(9, 13919)= 3.1</b> <b>p=0.000878</b>	F(9, 3644)= 0.90 p=0.526738

Табл. 1. Результаты многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) для трех тестов. Показаны только те виды дисперсий, в которых есть фактор ВОЗДЕЙСТВИЯ.  $F_{(a, b)}$  - значение статистики Фишера, a- внутригрупповое число степеней свободы для данного вида дисперсии, b- общее число степеней свободы. p- уровень значимости

к статье В.Н. Бинги, В.А. Миляев, Р.М. Саримов, А.А. Заруцкий “Влияние «нулевого» магнитного и электростатического полей на психофизиологическое состояние человека”

Воздействие	Пол	Буквенный тест (разница во времени)	Цветовой тест		Тест на скорость реакции (разница во времени)
			разница во цвете	разница во времени	
НМП 0±1 мкТл	Ж	<b>+11.2%</b> (p<0.001)	<b>-5.5%</b> (p<0.05)	<b>-8.8%</b> (p<0.000001)	<b>+5.3%</b> (p<0.05)
	М	+2.3% (p=0.22)	+3.4% (p=0.052)	<b>+1.7%</b> (p<0.05)	-0.2% (p=0.90)
ЭП 500 В/м	Ж	+1.7% (p=0.57)	<b>+6.2%</b> (p<0.05)	<b>+23.8%</b> (p<0.000001)	+2.4% (p=0.22)
	М	<b>+7.9%</b> (p<0.0001)	-1.9% (p=0.30)	<b>-7.6%</b> (p<0.000001)	<b>-3.3%</b> (p<0.01)
НМП+ЭП	Ж	<b>+20.9%</b> (p<0.000001)	+2.9% (p=0.24)	<b>+13.2%</b> (p<0.000001)	+1.7% (p=0.50)
	М	<b>+8.9%</b> (p<0.00001)	<b>+2.0%</b> (p<0.05)	<b>-6.3%</b> (p<0.000001)	<b>-2.8%</b> (p<0.05)
Сумма результатов для НМП и ЭП	Ж	+12.9%	+0.7%	+15.0%	+7.7%
	М	+10.2%	+1.5%	-5.9%	-3.5%

Табл. 2. Разница в между группами проходившими тест в режиме разных воздействий по сравнению с группой плацебо в %. Знаки ‘+’ и ‘-’ означают соответственно увеличение и уменьшение времени ответа; для теста на кратковременную цветовую память — рост и снижение ошибки идентификации цвета. В скобках уровень значимости по t-тесту.

к статье В.Н. Бинги, В.А. Миляев, Р.М. Саримов, А.А. Заруцкий “Влияние «нулевого» магнитного и электростатического полей на психофизиологическое состояние человека”