

ДВА ТИПА МАГНИТНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ: ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ И ГРУППОВОЙ

© 2012 г. В.Н. Бинги

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

E-mail: binhi@kapella.gpi.ru

Поступила в редакцию 27.04.10 г.

После доработки 02.02.11 г.

На основе результатов около 120 тысяч отдельных испытаний при психофизическом тестировании сорока испытуемых в нормальных условиях и в условиях стократно ослабленного геомагнитного поля построены выборочные плотности распределений величин магнитных эффектов. Показано, что есть два типа таких распределений, которые можно отнести к индивидуальным реакциям на изменение магнитного поля и к групповому магнитному эффекту на множестве индивидуальных реакций. Обсуждаются методологические следствия, существенные для регистрации магнитобиологических явлений и изучения их природы.

Ключевые слова: геомагнитное поле, магнитный биологический эффект, магниторецепция.

Настоящая работа завершает пятилетний цикл исследований действия изменений постоянного магнитного поля (МП) на организм человека. Оказывается, что стократное уменьшение уровня естественного МП в месте пребывания человека незначительно, но статистически значимо (в среднем приблизительно на 2%, $p < 0,01$) влияет на точность и скорость выполнения психологических тестов. При этом индивидуальные реакции в отдельных тестах достигали 20–40%. Цель работы состояла в том, чтобы объединить данные разнородных тестов в единый массив общим образом определенных магнитных эффектов и рассмотреть особенности статистических распределений на этом массиве.

Нормальные условия жизнедеятельности предполагают наличие обычного для организмов геомагнитного поля величиной около 50 мкТл. Значительное снижение величины локального МП не безразлично для организмов. Физические механизмы биологического действия низкоинтенсивного МП на сегодня не установлены. Наиболее часто (см. [1,2]) обсуждают те из них, которые опираются на а) возможное присутствие в тканях магнитных наночастиц, б) вовлеченность в метаболизм реакций с участием спин-коррелированных пар свободных радикалов, в) долгоживущие вращательные состояния дипольных белковых молекул, г) метастабильные состояния жидкой воды.

Физический механизм непременно включает взаимодействие МП с магнитным моментом предполагаемой мишени. Магнитный момент мишени есть момент макроскопический у магнитных наночастиц или момент молекулярный, обусловленный орбитальным движением или спинами электронов и протонов. В любом варианте значительное уменьшение МП приводит к качественным изменениям динамики мишеней. Для части магнитных наночастиц, обнаруженных в тканях многих организмов, – это изменение вида вращательного потенциала частиц с двукратного на однократное [3]. Для молекулярных моментов – это снятие зеемановского расщепления на магнитные подуровни и образование одного вырожденного состояния. Поэтому экспозиция в ослабленном МП удобна тем, что следует ожидать большей вероятности наблюдения нетепловых эффектов МП, известных своей специфически сниженной воспроизводимостью. Какой бы ни была динамика первичных мишеней МП, она должна претерпеть качественные изменения в существенно ослабленном МП – в «магнитном вакууме».

Данная работа подводит итог результатам персонального тестирования в условиях ослабленного геомагнитного поля. Испытуемые, давшие информированное согласие на участие в эксперименте, были протестированы в отношении совершенства когнитивных процессов при выполнении нескольких психологических задач, или тестов. Каждый из 40 испытуемых прошел тестирование дважды: в ослабленном МП и,

Сокращения: МП – магнитное поле, МБЭ – магнитбиологический эффект.

для сравнения, в аналогичных условиях, но без ослабления МП. Измеряемыми величинами, которые далее именуется параметрами, были а) время выполнения заданий и б) число допущенных ошибок в следующих тестах: 1) простая двигательная реакция, 2) распознавание соответствия между смыслом слов, обозначающих цвета, и их цветом, 3) кратковременная цветовая память и 4) распознавание повернутых/отраженных букв. Тесты № 2 и № 4 являлись модификациями известных в психофизиологии зрения тестов Струпа и Шепарда [4]. Всего, таким образом, имели восемь измеряемых параметров. В условиях ослабленного МП приблизительно на 2% возросло число ошибок и время выполнения задач. Реакция молодых женщин на ослабление МП была особенно значительной. Помимо возраста и пола, с величиной магнитных эффектов также коррелировали факторы самочувствия и склонности к аллергическим реакциям. Корреляция с температурой и давлением была несущественной. Описания протокола экспериментов, использованных статистических методов и полученных результатов опубликованы в [5,6]. Использование методов, дисперсионного, дискриминантного и факторного анализа [7,8] позволило определить статистики выборок и установить наличие магнитного эффекта для каждого теста. Интерес представляют также и интегральные характеристики индивидуальной и групповой магнитной чувствительности, определяемые по всей совокупности полученных данных. Объединение результатов измерений в единую совокупность затруднено разнородностью измеряемых физических величин и неодинаковым размером выборок.

В настоящем исследовании указанная трудность преодолена обобщением алгоритма обработки данных. Проанализирован характер выборочных статистических распределений, описывающих магнитные эффекты. Различия этих распределений указывают на существование двух типов магнитных эффектов – индивидуальных и групповых.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Относительная величина эффекта. Магнитным биологическим эффектом (МБЭ) называют закономерное изменение какой-либо величины, характеризующей состояние организма, при изменении магнитных условий его пребывания. Если есть массивы измерений в условиях обычного и измененного МП, то, применяя, например, дисперсионный анализ, можно вычислить вероятность того, что гипотеза о неслучайном

различии массивов верна. Но какова численная величина эффекта?

Величину эффекта часто определяют как разность средних значений по выборочным распределениям в «контроле» и в «опыте». При таком определении величина эффекта имеет физическую размерность, что не всегда удобно: невозможно сопоставлять эффекты, полученные измерением различных величин. Такая задача возникает и в магнитобиологии. Вследствие специфически сниженной воспроизводимости МБЭ, эксперимент иногда проводят путем измерения нескольких биологических величин, имеющих в общем случае разную размерность. При этом специфика биологических измерений обуславливает разные по объему массивы измерений. Получены, например, под действием магнитного поля различные эффекты в измерениях разных параметров – времени ответов и числа ошибок. Какова величина магнитных эффектов в среднем?

Понятно, что корректный способ вычисления средних величин состоит в том, чтобы объединить контрольные массивы в единый контрольный массив, опытные – в единый опытный, а затем посчитать статистики эффекта. Но объединить массивы не всегда возможно, хотя бы из-за неодинаковой физической размерности. В этом случае следует составить сначала относительные безразмерные величины, по отношению к средней величине в контроле, а затем объединять массивы. Но и тогда может возникнуть трудность, если контрольные измерения дают в среднем близкое к нулю или нулевое значение. Такое случается, и относительный эффект в результате становится очень велик или даже бесконечен, что указывает на неэффективность стандартного определения относительного эффекта в такой ситуации. По этой причине в наших предыдущих работах использовали одновременно два типа определений относительных эффектов, для непрерывных и для дискретных величин, что являлось методологическим несовершенством.

Возникает, следовательно, необходимость построения относительного показателя, который бы служил характеристикой величины эффекта и при нулевых средних величинах в контроле и обеспечил, таким образом, возможность объединения массивов.

Рассмотрим построение такого показателя на примере контрольного c и «опытного» x массивов размером n и m соответственно. Здесь и далее жирным шрифтом обозначены массивы измерений. Пусть измерения фиксируют ошибки в испытаниях: 0 – правильный ответ и 1 – ошибочный ответ. Повторим, что обычное оп-

ределение относительной средней величины эффекта в виде

$$X = (x - c)/c, \quad (1)$$

где x и c обозначают выборочное среднее соответствующей случайной величины, невозможно, так как в некоторых сериях испытаний появляются массивы c , содержащие только нули (ошибок нет).

Обойдем эту трудность введением индексов ошибочности и безошибочности вместо числа ошибок. Разумно определить безошибочность, например в контроле, отношением $(n - k)/n$, где n – это число испытаний, а k – число ошибок. Соответственно, безошибочность в «опыте» есть $(m - j)/m$, где m – число испытаний и j – число ошибок. Тогда относительная безошибочность, по отношению к значению этой величины в контроле, есть $(m - j)n/[(n - k)m]$, а относительная ошибочность – обратная ей величина $(n - k)m/[(m - j)n]$. Теперь, даже если ошибки в контроле отсутствуют, относительная ошибочность остается конечной величиной.

Допустимо обобщение на случай непрерывных положительно определенных случайных величин, таких как измерения времени и расстояния, если массивы c и x предварительно нормировать на их общий максимальный элемент. Все элементы массивов теперь попадают в интервал $[0,1]$. Относительная величина эффекта тогда определяется соотношением

$$X = \frac{m \sum_{i=1}^n (1 - c_i)}{n \sum_{i=1}^n (1 - x_i)} = \frac{1 - c}{1 - x}, \quad (2)$$

где x_i и c_i означают элементы массивов. Выражение (2), разумеется, переходит в выражение $(n - k)m/[(m - j)n]$ для случайной дискретной величины со спектром значений 0 и 1. Определение (2), в отличие от (1), применимо практически для любых наборов измерений.

Определение магнитного эффекта. Как станет ясно из дальнейшего, из-за существования индивидуального магнитного эффекта контрольные и «опытные» измерения целесообразно проводить для одного и того же испытуемого или организма, когда это возможно. Здесь существует другая трудность, связанная с тем, что контрольные и «опытные» измерения не могут быть проведены одновременно. Но величины измеряемых параметров подвержены систематическим и случайным изменениям во

времени. Поэтому вычисленные значения величин эффекта содержат вклады как от магнитного воздействия, так и от естественных временных трендов. Для снижения вклада систематических изменений, вызванных, например, физиологическими ритмами или приобретением навыка в процессе тестирования, организуют так называемую имитацию воздействия, мнимую экспозицию, или плацебо-контроль. Суть состоит в том, что часть опытов проводят в отсутствие экспозиции, в нашем случае – в отсутствие подавления геомагнитного поля, о чем испытуемых намеренно не ставят в известность. Поскольку в наших работах автоматический сбор и обработка измерений исключала субъективизм, такие условия в целом соответствовали так называемому двойному слепому контролю. Чтобы не вводить индексы для величин, относящихся к этим двум типам экспериментов с реальным подавлением геомагнитного поля и с имитацией подавления, далее примем следующие обозначения массивов. Для экспериментов с реальным подавлением: c – контроль и x – опыт; для экспериментов с имитацией подавления: s – контроль и y – опыт.

Итак, средние относительные эффекты в экспериментах с реальной и мнимой экспозицией есть соответственно

$$X = \frac{1 - c}{1 - x} \text{ и } Y = \frac{1 - s}{1 - y}. \quad (3)$$

Средний относительный магнитный эффект можно задать одним из двух равнозначных определений: $M = (X - Y)/X$ и $M = (X - Y)/Y$. При малых наблюдаемых магнитных эффектах в диапазоне 0,01–0,1 разница имеет второй порядок малости и ее можно не учитывать. Однако именно первое определение предпочтительно. Подставляя X и Y из (3), получим

$$M = 1 - \frac{(1 - s)(1 - x)}{(1 - y)(1 - c)}. \quad (4)$$

То, что это выражение является линейной функцией x , позволяет рассматривать (4) как среднее по элементам массива магнитных эффектов

$$M = 1 - \frac{(1 - s)(1 - x)}{(1 - y)(1 - c)}.$$

Здесь прибавление константы к массиву и умножение на константу означает применение этих операций к каждому элементу массива x .

Далее массивы M , полученные при прохождении испытуемым с порядковым номером n

теста с номером m , обозначаем M_{nm} , средние по этим массивам – M_{nm} . Как уже сказано, средние по нескольким массивам статистики, моменты распределений или сами распределения, правильнее строить, объединяя массивы. Массивы M_{nm} можно объединять, поскольку они составлены из безразмерных элементов, группирующихся около нуля при отсутствии эффекта. Обозначим объединение массивов M_{nm} по одному из индексов, например m , в виде $M_n = M_{n(m)}$, т.е. взятием в скобки соответствующего индекса. В данном случае массив M_n – это массив, объединяющий массивы магнитных эффектов, демонстрируемых испытуемым n в измерениях всех восьми тестовых параметров.

Существенно, что магнитные эффекты, демонстрируемые разными испытуемыми, статистически устойчивы. Соответствующие распределения дают отличающиеся средние значения, не только по величине, но и по знаку эффекта. Другими словами, магнитные эффекты индивидуальны. Поэтому объединение массивов по индексу n , хотя и возможно, но не обладает практическим смыслом. Индивидуальные магнитные эффекты разного знака, которые сами по себе могут быть статистически значимыми, при объединении взаимно компенсируются и в объединенном массиве не видны, а проявляются в нем только как увеличенное стандартное отклонение. Иной подход дает больше важной информации.

Интерес представляют: 1) общая форма индивидуальных распределений величин магнитных эффектов, т.е. то общее в индивидуальных распределениях, что не есть их средние величины, и 2) форма распределения индивидуальных средних магнитных эффектов. Обозначим распределение, построенное на элементах какого-либо массива, например \mathbf{z} , как $R(u, \mathbf{z})$, где u – переменная распределения, величина магнитного эффекта. В этих обозначениях объектами вычисления являются распределения 1) $R_n = R(u, \mathbf{A}_n)$, $\mathbf{A}_n = \mathbf{M}_n - M_n$ есть центрированные массивы, т.е., формы индивидуальных распределений, и 2) $R(u, \mathbf{B})$ – распределение индивидуальных средних. Здесь M_n – среднее по элементам массива \mathbf{M}_n , а \mathbf{B} – массив, образованный такими средними.

Для построения распределений использована оценка плотности функции распределения с ядром в виде нормального распределения $N(u, \mu, \sigma_0)$ со средним μ и стандартным отклонением σ_0 . Например, оценка плотности распределения элементов массива \mathbf{z} размером n имеет следующий вид:

$$R(u, \mathbf{z}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N(u, z_i, \sigma_0),$$

где z_i – элемент массива \mathbf{z} . Оценка плотности, как легко видеть, нормирована на единичную площадь под кривой, что удобно для сравнения распределений. Оценка плотности является непрерывным аналогом гистограммы. Детализация оценки задается параметром ядра σ_0 . Везде ниже использовано адаптивное значение σ_0 , составляющее 1/5 часть от стандартного отклонения σ элементов массива, что соответствует приблизительно пяти столбцам гистограммы в основной части распределения, в интервале $(-\sigma, \sigma)$, для гауссовых массивов. Оценка плотности в сравнении с гистограммой обладает большей наглядностью и рядом других преимуществ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Описанный алгоритм вычисления магнитных эффектов и построения плотностей распределения из ранее полученных 1280 массивов \mathbf{c} , \mathbf{x} , \mathbf{s} и \mathbf{y} (приблизительно 120 тысяч элементов) был реализован в виде программы. На рис. 1 показаны формы индивидуальных распределений магнитных эффектов и общая усредненная форма этих распределений $R(u, \mathbf{A}_{(n)})$.

«Крылья» распределения возникают вследствие дискретности спектра значений параметров в измерениях числа ошибок. Это видно из рис. 2, на котором приведены те же кривые, что и на рис. 1, за исключением, что массивы измерений ошибок тестирования, состоящие из нулей и единиц, не учтены. Первоначально «крылья» связывались с возможным наличием выделенной группы особенно чувствительных людей, демонстрирующих большой МБЭ, однако эта гипотеза не находит подтверждения.

Асимметрия общего распределения обусловлена вкладом результатов измерений цветовой памяти. Здесь измеряется расстояние между векторами, компоненты которых обладают нормальным распределением. Тогда расстояние имеет релеевское распределение, которое и добавляется к гауссову в целом распределению измерений времени ответа.

Аппроксимирующие гауссианы на рис. 1 и рис. 2 близки, имеют стандартное отклонение 0,27 в первом случае и 0,26 во втором. По-видимому, величина 0,25–0,30 является характерной для ожидаемого разброса в повторных измерениях индивидуальных магнитных эффектов.

Подчеркнем, что общее распределение строилось на основе объединения массивов ин-

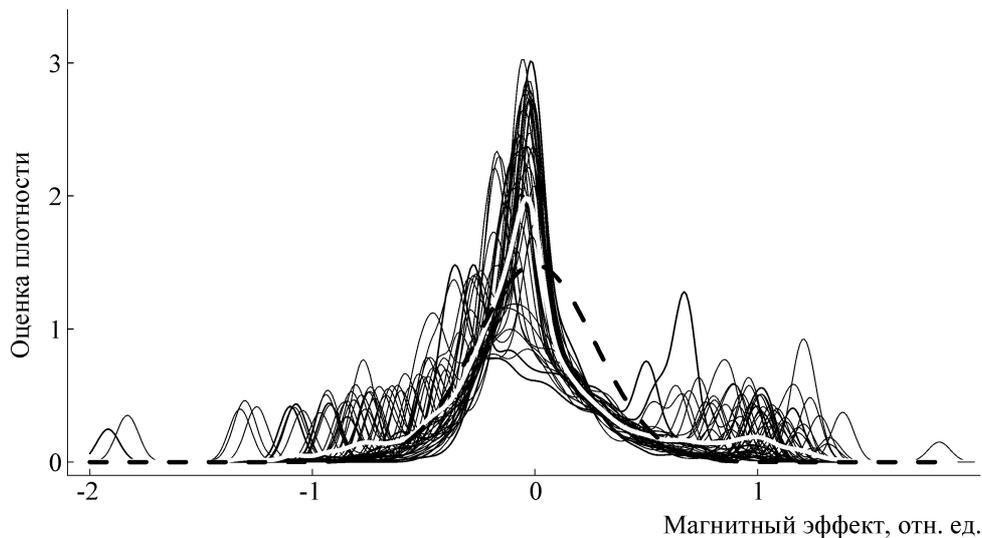


Рис. 1. Индивидуальные распределения магнитных эффектов для центрированных массивов $A_n \equiv M_n - M_n$ (черные кривые), общее распределение $R(u, A_{(n)})$, т.е. усредненная форма индивидуальных распределений (белая кривая) и аппроксимирующий гауссиан (пунктир). Общее распределение построено на массиве 39738 испытаний, для нормировки которых использовано еще 79026 испытаний.

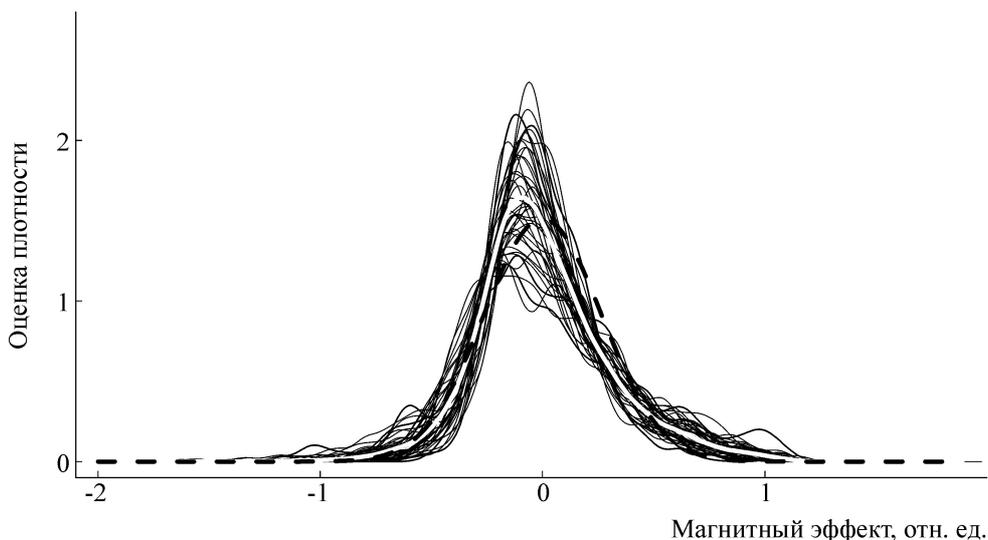


Рис. 2. Индивидуальные распределения магнитных эффектов для центрированных массивов, построенных на измерениях только параметров с почти непрерывным спектром (время ответов и цветовая память). Общее распределение построено на массиве 26522 испытаний, для нормировки использовано 52604 испытания.

дивидуальных эффектов за вычетом их средних, поскольку средние магнитные эффекты не были случайными и являлись индивидуальной характеристикой испытуемых. Таким способом удалось выявить *общую форму* индивидуальных распределений. Если же объединить массивы, не вычитая их средних, то получится глобальный массив магнитных эффектов $M_{(n)}$ со средней величиной $0,017 \pm 0,002$.

Теперь рассмотрим распределение самих индивидуальных средних магнитных эффектов M_n , представленное на рис. 3. Как видно, это рас-

пределение обладает существенно меньшей дисперсией, чем индивидуальные магнитные эффекты. Стандартное отклонение аппроксимирующего гауссиана равно 0,061. Распределение обладает средним значением 0,0168. Отметим устойчивость этого результата. Если распределение строить только по массивам измерений времени ответа, то средний эффект равен 0,0164. Если же не учитывать результаты шести испытуемых, показавших максимальные эффекты, то средний магнитный эффект около 0,0149 также сохраняет статистическую значимость

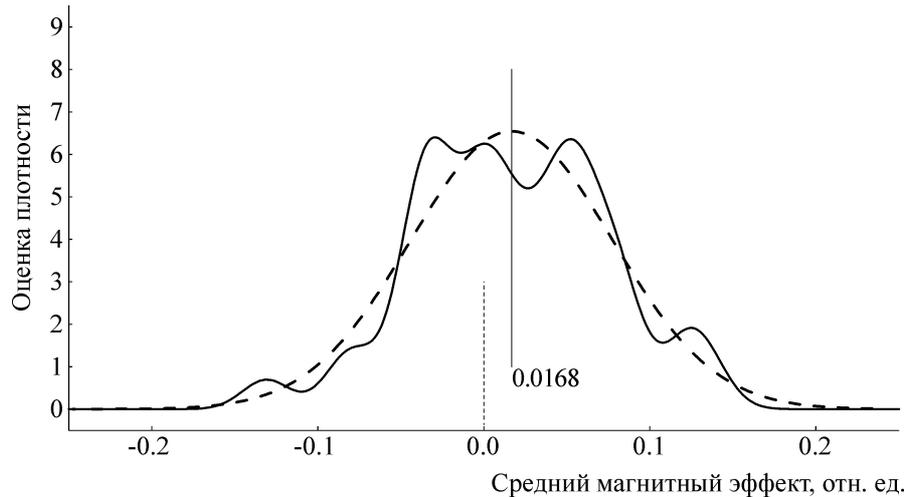


Рис. 3. Распределение на множестве 40 значений индивидуальных средних магнитных эффектов M_n и аппроксимирующий гауссиан со стандартным отклонением 0,061.

$p < 0,01$ [9]. Таким образом, глобальный средний МБЭ сформирован всей массой средних магнитных эффектов и всеми испытуемыми. Он не является ни следствием особенной эффективности какого-либо теста, ни следствием наличия особенно чувствительных испытуемых.

ОБСУЖДЕНИЕ

Видно из рис. 1–2, что измерение индивидуальных магнитных эффектов дает довольно большой разброс около средней величины – разброс, соответствующий стандартному отклонению σ порядка 0,25–0,30. Насколько большей должна быть средняя величина, чтобы она оказалась статистически значимой при такой плотности распределения? Понятно, что это зависит от числа измерений, по которым определяют среднее. Число необходимых измерений можно приблизительно оценить, исходя из того, что выборочное среднее μ должно быть больше стандартной ошибки среднего σ/\sqrt{n} . Отсюда, для фиксации 10% среднего магнитного эффекта требуется около 10 измерений, для 1% эффекта – около 1000 измерений. В данной работе глобальный средний магнитный эффект определялся на выборке размером около 40000, что практически гарантирует надежность второго знака в оценке глобального магнитного эффекта 1,7%.

Что известно о воспроизводимости МБЭ? То, что эта воспроизводимость недостаточна, по строгим научным меркам. Анализ форм распределения магнитных эффектов показывает, что одна из причин недостаточной воспроизводимости, по крайней мере в отношении биологической эффективности магнитного вакуума, состоит в различиях между индивидуальным

и групповым магнитным эффектами. Конкретно, малая воспроизводимость связана с тем, что разброс индивидуальных эффектов значительно больше средней величины группового эффекта. В данной работе – больше в 16 раз. Средняя величина группового МБЭ может быть близка к нулю, и накопление все новых данных тогда будет приводить к заключению, что в среднем магнитного эффекта нет. При этом оппонент магнитобиологии неявно полагает, что конкретные реализации измерений зашумлены посторонними факторами, представляют реализации случайной величины с нулевым средним. Это не так: групповой магнитный эффект формируется усреднением индивидуальных эффектов, каждый из которых в существенной мере неслучаен и даже может быть сам по себе статистически значимым эффектом. Близкий к нулю групповой эффект не означает отсутствия магнитных эффектов вообще.

Несмотря на сходство, индивидуальный и групповой магнитный эффекты – это разные эффекты, хотя бы в силу отличной природы своих дисперсий. Разброс в этих эффектах обусловлен факторами разного происхождения. Аналогично, например, время индивидуальной сенсомоторной реакции содержит случайную компоненту, формируемую многими факторами мозговой деятельности и проведения нервных импульсов, в то время как вариабельность этого признака в популяции определяется фенотипической дисперсией.

В то же время отличие между индивидуальным и групповым магнитным эффектами довольно условно. Это связано с условностью определения индивидуальной или целостной биологической системы. Граница строго не оп-

ределена, и ее можно провести по-разному. Например, культура клеток является индивидуальным организмом или группой в зависимости от условий наблюдения.

Из-за неспецифичности магнитных биологических эффектов они существуют и могут проявлять статистическую устойчивость на разных уровнях организации биологических систем. Граница условна: индивидуальный магнитный эффект испытуемого M_n можно рассматривать как групповой для эффектов M_{nm} , регистрируемых в разных когнитивных тестах. Другой пример: групповой эффект нескольких десятков испытуемых является индивидуальным, если считать эту группу принадлежащей какой-либо выделенной популяции – возрастной, городской, географической и т.д., среди множества таких популяций. Другими словами, любой наблюдаемый магнитный эффект является одновременно индивидуальным и групповым по отношению к элементам разного уровня системной организации.

Отдельный организм обладает уникальной реакцией на изменение МП. По этой причине понятие средней величины МБЭ может быть таким же бесполезным как понятие усредненного дактилоскопического узора. В последнем случае усреднение сводится к отсутствию всякого узора вообще. Так и средний магнитный эффект мал, но это не означает, что малы индивидуальные магнитные эффекты. В данной работе из 40 испытуемых 16 показали средний магнитный эффект, превышающий по абсолютной величине 5%, восемь – более 8% и у четырех испытуемых магнитный эффект был более 10%.

Общее, что присутствует в уникальных магнитных реакциях, – это групповой магнитный эффект. Особенное, что в них есть, – это индивидуальный магнитный эффект. В измерениях реакции организма на МП присутствуют вклады обоих эффектов. Для разделения этих вкладов надо включать в эксперимент много организмов и каждый из них подвергать множественным испытаниям. То, что это далеко не всегда практически осуществимо, проявляется в виде пониженной воспроизводимости магнитобиологических явлений.

Везде выше под магнитным эффектом подразумевался эффект стократного ослабления локального магнитного поля, наблюдаемый в параметрах психофизического тестирования 40 испытуемых. В целом, действие МП на организмы не обладает выраженной специфичностью. Такое действие наблюдали во всех физиологических системах организмов и на всех уровнях их организации, начиная с процессов в отдельных клетках. В силу этой неспецифичности имеются основания полагать, что закономерности,

обсуждаемые в настоящей работе, имеют более фундаментальное значение и остаются справедливыми в отношении биологической рецепции изменений уровня постоянного МП вообще, или в отношении магнитных биологических явлений в целом.

ВЫВОДЫ

1. Существует два типа различных распределений магнитных эффектов. Распределение отдельных измерений реакции целостного организма на МП определяет индивидуальный средний магнитный эффект, который обладает статистической устойчивостью, и может, при достаточной величине, обладать статистической значимостью. Распределение индивидуальных магнитных эффектов формирует средний групповой магнитный эффект.

2. В силу существования индивидуальных устойчивых реакций на МП и их широкого разброса в сравнении со средним групповым эффектом, в измерениях магнитных эффектов наиболее вероятны наименее значимые результаты.

3. Средняя величина не является информативной характеристикой группового магнитного эффекта. Таковой является форма устойчивого группового распределения индивидуальных средних магнитных эффектов.

4. Методологически важно в магнитобиологических исследованиях учитывать разницу между индивидуальным и групповым магнитным эффектами и заранее выбирать стратегию исследования, гарантирующую достижение статистической устойчивости результатов.

5. Для изучения первичных механизмов магниторецепции целесообразен предварительный отбор индивидуальных организмов, обладающих повышенной чувствительностью к вариациям МП.

Автор благодарит своих коллег В.А. Миляева и Р.М. Саримова за участие в организации и проведении экспериментов и группу испытуемых, любезно согласившихся на тестирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Н. Бинги и А. Б. Рубин, Биомед. технологии и радиоэлектроника, **2–4**, 63 (2007).
2. М. N. Zhadin, Bioelectromagnetics **22** (1), 27 (2001).
3. V. N. Binhi and D. S. Chernavskii, Europhys. Lett. **70** (6), 850 (2005).
4. R. N. Shepard and L. A. Cooper, *Mental images and their transformation* (MIT Press, Cambridge, 1982).
5. Р. М. Саримов и В. Н. Бинги, Биомед. радиоэлектроника **1**, 20 (2009).

6. Р. М. Саримов, В. Н. Бинги и В. А. Миляев, Био-физика **53** (5), 856 (2008).
7. Г. Шеффе, *Дисперсионный анализ* (Наука, М., 1980).
8. Д.-О. Ким и др., *Факторный, дискриминантный и кластерный анализ* («Финансы и статистика», М., 1989).
9. V. N. Binhi and R. M. Sarimov, *Electromagnetic Biology and Medicine* **28** (3), 310 (2009).

Two Types of Magnetic Biological Effects: Individual and Batch Effects

V.N. Binhi

Prokhorov Physical Institute, Russian Academy of Sciences, ul. Vavilova 38, Moscow, 119991 Russia

Frequency distributions of the magnetic effects values have been calculated based on the results of about 120 thousand single trials during psychophysical testing of 40 people under normal conditions and exposure to the hundredfold weakened geomagnetic field. Two types of such distributions were shown to be attributed to a) the individual reactions to the change of a magnetic field and b) the batch magnetic effect on the set of the individual reactions. The methodological consequences significant for detecting magnetic biological phenomena and studying their nature are discussed.

Key words: geomagnetic field, magnetic biological effect, magnitoreception