

НЕИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

УДК 614.426

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ “МАГНИТНОГО ВАКУУМА” НА ЦВЕТОВУЮ ПАМЯТЬ ЧЕЛОВЕКА

© 2005 г. В. Н. Бинги*, А. А. Заруцкий, С. В. Капранов, С. Н. Котельников,
В. А. Миляев, Р. М. Саримов

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

Предложен метод исследования влияния слабых магнитных полей и магнитного вакуума на цветовую память и другие проявления психической деятельности человека. Метод включает систему экспозиции организма человека в однородном постоянном и переменном магнитных полях регулируемой величины и комплекс компьютерных психологических тестов. Изучали влияние изменения постоянного магнитного поля на кратковременную цветовую память человека и время простой двигательной реакции. 30 испытуемых прошли тесты на цветовую память и скорость реакции в локальном геомагнитном поле и в магнитном поле, уменьшенном в 10 и более раз. Получены статистически значимые различия в тесте на цветовую память в магнитном поле 4 ± 1 мкТл по сравнению с результатами в геомагнитном поле. В магнитном поле 0 ± 1 мкТл обнаружено незначительное ухудшение цветовой памяти. Предварительные результаты теста на скорость реакции показали тенденцию к замедлению реакции в гипомагнитных условиях.

Магнитный вакуум, геомагнитное поле, эффекты Зеемана и Штарка, кратковременная цветовая память, скорость реакции.

Известно, что низкочастотные, до 100 Гц, электромагнитные поля (ЭМП) могут влиять на нервную систему человека [1]. Такие эффекты наблюдают и в диапазоне относительно слабых, приблизительно до 100 мкТл, магнитных полей [2, 3]. Этот факт важен, поскольку большая часть населения хронически подвергается фоновому воздействию ЭМП, создаваемых электротранспортом, индустрией, телекоммуникациями и бытовым электрооборудованием. Однако воспроизводимых закономерностей в подобных исследованиях пока не обнаружено. Ухудшение кратковременной памяти [4], замедление скорости реакции [4, 5], снижение порога боли [6] привели к заключению, что такие поля могут кратковременно угнетать высшую нервную деятельность человека. В то же время подобные изменения наблюдают не всегда [7]. Более того, электромагнитные воздействия приводили к увеличению точности выполнения тестов человеком [8] и к улучшению краткосрочной памяти у крыс [9]. Результаты измерений ритмов головного мозга оказались противоречивыми. Интенсивность ритмов, измеренных одинаковым образом, как возрастала, так и уменьшалась вследствие экспозиции человека в ЭМП по наблюдениям разных авторов [10–12]. Эффекты ЭМП в исследованиях по методу вызванных по-

тенциалов также имели разнонаправленный характер [13].

Полагают, что причина затруднений с повторением экспериментов связана, в частности, с разными электромагнитными условиями проведения экспериментов. В число существенных параметров входят не только частота и амплитуда ЭМП, но и постоянное магнитное поле [14], а также постоянное электрическое поле и его ориентация [15]. Далеко не всегда эти параметры контролируют в экспериментах. Поэтому экспериментальное наблюдение биологических эффектов слабых ЭМП носит в определенном смысле вероятностный характер. Однако ожидаемый уровень непредсказуемости может быть значительно снижен.

Имеются основания полагать, что по крайней мере часть наблюдаемых биологических эффектов слабых ЭМП обусловлена действием ЭМП на мишени атомно-молекулярного масштаба. Наблюдаемые резонансо-подобные эффекты слабых магнитных полей с эффективными частотами, совпадающими с характерными частотами биологически значимых ионов и малых молекул, а также пропорциональность этих частот постоянному МП не могут быть объяснены иначе, чем в связи с зеемановским расщеплением угловых атомно-молекулярных состояний. Значительное снижение величины МП приводит к снятию расщепления и образованию одного вырожденного термина вместо мультиплетта. Это новое качествен-

*Адресат для корреспонденции: 119991 Москва, ул. Вавилова, 38, ИОФ РАН; тел.: (095)135-01-58; e-mail: info@bio-mag.info.



Рис. 1. Система экспозиции организма человека слабыми (до 0.2 мТл) постоянными и низкочастотными (10–1000 Гц) магнитными полями.

ное состояние возникает для всех атомов и молекул, обладающих долгоживущими угловыми состояниями, независимо от их масс и зарядов. Возможную природу таких мишеней обсуждали в [16].

То, что на “нулевое” МП отзываются все мишени, а не часть их, как было бы в случае переменного МП, делает наблюдение биологического эффекта магнитного вакуума более вероятным.

Формальное определение магнитного вакуума состоит в неравенствах $H_{ac} \ll H_{dc} \ll H_{geo}$, где H_{ac} – среднеквадратичная величина переменной компоненты МП, H_{dc} – локальное постоянное МП, H_{geo} – геомагнитное поле. Эффекты магнитного вакуума наблюдали (например, [17]). В этой работе отмечали, что экранирование геомагнитного поля приводило к уменьшению стресс-индуцированной анальгезии у мышей. Эффекты зависели от того, каким образом были получены условия магнитного вакуума, металлическим экраном или компенсацией естественного геомагнитного поля при помощи противоположно направленного искусственного поля. Такие работы особенно интересны для выяснения механизмов взаимодействия электромагнитного излучения с биологическими объектами, так как содержат неявное указание на вовлеченность другого физического эффекта – эффекта Штарка – в формирование наблюдаемых изменений.

В данной работе исследовали влияние магнитного вакуума на кратковременную цветовую память и скорость реакции человека в условиях контролируемых по постоянному магнитному и электрическому полю. Для изучения реакции организма на ослабление МП была разработана

экспериментальная установка, включающая систему экспозиции человека такими полями и систему компьютеризированного измерения параметров, сбора и анализа данных, характеризующих психофизиологическое состояние человека.

СИСТЕМА ЭКСПОЗИЦИИ

Система отличается от обычно используемых в подобных экспериментах систем Гельмгольца из двух кольцевых катушек. Она состоит из четырех колец диаметром 1 м, расстояние между которыми 0.5 м (рис. 1). Количество витков в крайних кольцах 40, в средних – 26.5. Общее активное электрическое сопротивление 1.23 Ом. Система была рассчитана так, чтобы неоднородность МП внутри системы не превышала 1 мкТл. Ось системы экспозиции наклонена под углом 70° к горизонту и параллельна вектору постоянного локального, главным образом геомагнитного, поля. По всему периметру системы был установлен электростатический экран в виде сетки из медной проволоки диаметром 0.4 мм с размером ячейки около 3 см. Расчетный коэффициент ослабления электростатического поля внутри экрана >100. Уровень постоянного МП медленно флуктуировал в диапазоне ± 1 мкТл вследствие шумового поля, создаваемого электротранспортом.

Магнитный вакуум достигали путем создания МП, равного и противоположно направленного локальному геомагнитному полю 41.5 мкТл. Использовали источник постоянного тока ТЕС-5020. МП измеряли тестером магнитной индукции ТМИ-01 (ИФП ИОФРАН) с точностью ± 0.1 мкТл. Экспе-

рименты проводили с использованием трех режимов экспозиции. В контрольном режиме МП оставалось равным геомагнитному 41.5 ± 1 мкТл. Использовали два различных режима магнитного вакуума (0 ± 1 мкТл и -4 ± 1 мкТл), в последнем случае вектор результирующего МП был направлен противоположно вектору геомагнитного поля. Далее для указания режимов использованы обозначения: С – контроль, MV0 – 0 мкТл, MV4 – 4 мкТл. Разность средних измеряемых величин в контроле и в условиях экспозиции, вообще говоря, может быть вызвана не изменением магнитных условий, а какими-то другими факторами, например усталостью, адаптацией, изменением уровня акустического шума в лаборатории. Поэтому результаты, полученные в экспериментах с реальной экспозицией в измененном МП, надо сравнивать с результатами, полученными в ходе шам-экспериментов, которые отличаются от обычных только тем, что магнитные условия (режим) в ходе эксперимента остаются неизменными. Поэтому часть экспериментов была проведена в условиях ложной экспозиции, т.е. МП не менялось в течение всего эксперимента. Таким образом, проводили три разновидности экспериментов: С-MV0, С-MV4 и С-С.

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

Тест на цветовую память. Оригинальная компьютерная программа позволяла тестировать кратковременную память человека на цвет предъявляемого изображения или на его отдельные компоненты – красный R, зеленый G и синий B. Также измеряли и анализировали длительность выполнения теста. Это достигалось следующим образом. На экране монитора появлялось монохромное изображение в виде квадрата со стороной 512 пикселей. Цвет задавали случайно из 16 миллионов возможных сочетаний отдельных цветовых компонентов с интенсивностями от 0 до 255. Монохромное изображение демонстрировали в течение 1 с. Затем испытуемому показывали изображение цветового спектра в форме такого же квадрата. Спектр демонстрировали в течение 3 с. За это время испытуемому надо было найти и указать на спектре цвет первоначального монохромного изображения. Обычно определение цвета происходило с ошибкой, поскольку испытуемый не в состоянии в совершенстве запомнить и точно указать первоначальный цвет.

Для обозначения цветов удобно ввести векторы 3-мерного пространства дискретных величин, каждая из которых соответствует интенсивности данной цветовой компоненты. Пусть X – цвет первоначального монохромного изображения, а Y – цвет, указанный испытуемым на изображении спектра. Ошибку определения цвета вычис-

ляли как модуль разности этих векторов $S = |X - Y|$ или $S = (r^2 + g^2 + b^2)^{1/2}$, здесь r , g и b – разности соответствующих компонент X и Y. Далее анализировали ошибку S, усредненную на различных множествах проведенных испытаний и/или по различным группам испытуемых. Ошибка в определении цвета характеризует цветовую память испытуемого, т.е. способность запоминать и сохранять в кратковременной памяти цветовые ощущения. Параллельно в тесте проводили измерения времени, ушедшего на определение и указание цвета.

Тест на скорость реакции. В тесте на экране монитора появлялось изображение монохромного квадрата со стороной 113 пикселей. Момент появления изображения был случайным в интервале от 2 до 4 с после окончания предшествующего испытания. Испытуемый должен был среагировать на появление изображения нажатием клавиши. Место появления изображения на экране, а также его цвет, R, G или B были случайными. В ходе эксперимента измеряли промежуток времени t между предъявлением изображения и простой двигательной реакцией испытуемого, нажатием клавиши. Время опроса клавиатуры составляло около 8 мкс, поэтому множество измеренных значений времени реакции представляло выборку значений случайной дискретной величины.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Испытуемые были разделены на несколько групп. В экспериментах на цветовую память с последовательными режимами С и MV0 участвовало 14 человек в возрасте от 21 до 50 лет; с режимами С и MV4 – 14 человек в возрасте от 19 до 75 лет. В ложных экспериментах с режимами С и снова С участвовало 5 человек в возрасте от 26 до 55 лет. Эксперименты на скорость реакции проводили в режиме MV4, в них участвовали 4 человека в возрасте от 21 до 38 лет. Длительность отдельного эксперимента составляла 1 ч 40 мин. Эксперимент включал 10 серий по 10 мин. Каждая серия состояла из 100 испытаний. На испытания отводилось 400 с. Затем следовал перерыв длительностью 200 с, в течение которого испытуемый мог отдохнуть. Первые 10 мин (1-я серия испытаний) предоставлялись испытуемому для освоения теста. Затем испытуемый выполнял тест в контрольных условиях, т.е. в режиме С, в течение 30 мин (2–4-я серии). Далее, незаметно для испытуемого включали (или не включали в “шам”-экспериментах) компенсирующее МП. Оставшиеся 60 мин (5–10-я серии) испытуемый выполнял тест в условиях магнитного вакуума. Эксперименты проводили при дневном освещении при фиксированных настройках монитора.

Таблица 1. Статистически ошибки определения цвета S в тесте на цветовую память

Режим, пол	Серии 2–4 (контроль)			Серии 5–10 (экспозиция)			p -уровень
	Среднее	σ^2	N	Среднее	σ^2	N	
C–C, ж	39.32	638.23	1200	39.75	701.96	2400	0.64
C–C, м	55.36	1163.68	300	57.11	1417.07	600	0.5
C–MV4, ж	43.76	803.34	1200	42.71	700.17	2400	0.27
C–MV4, м	45.09	922.55	2951	47.64	1037.23	5979	0.00035
C–MV0, ж	38.26	671.04	1200	37.22	608.27	2400	0.24
C–MV0, м	41.2	727.88	2978	41.42	790.3	6000	0.73

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты тестов на цветовую память и скорость двигательной реакции представлены в табл. 1. Приведены режимы экспериментов, пол участников, средние и дисперсии ошибки определения цвета, размер выборок и p -уровень статистической гипотезы о том, что измерения в контроле и при экспозиции являются выборками из одной и той же генеральной совокупности. В статистической обработке результатов использовали двусторонний t -тест Стьюдента. Как видно из таблицы статистически значимые отличия были получены только в экспериментах типа C-MV4. На рис. 2 приведена динамика изменения ошибки S , усредненной по испытаниям в данной серии и по всем испытуемым. Максимальный эффект достигался через 10–20 мин после изменения постоянного МП (6-я серия) и спадал после 40–

50 мин экспозиции (9-я серия). Такая динамика характерна и для режима MV0, хотя и в меньшей степени.

В экспериментах приняли участие 8 женщин и 16 мужчин. Обнаружена статистически значимая разница в цветовой памяти по признаку пола, табл. 2. Женщины определяли цвет вообще более точно, но условия магнитного вакуума практически не влияли на результат. В наших экспериментах только мужчины оказались чувствительными к изменениям магнитных условий (табл. 1). Отметим, что если не учитывать различий по признаку пола, то разница между контрольной и “экспонированной” выборками остается статистически значимой ($p = 0.0083$).

На рис. 3 показаны гистограммы ошибок определения цвета S в условиях контроля C и экспозиции MV4 (на выборках, объединенных по испы-

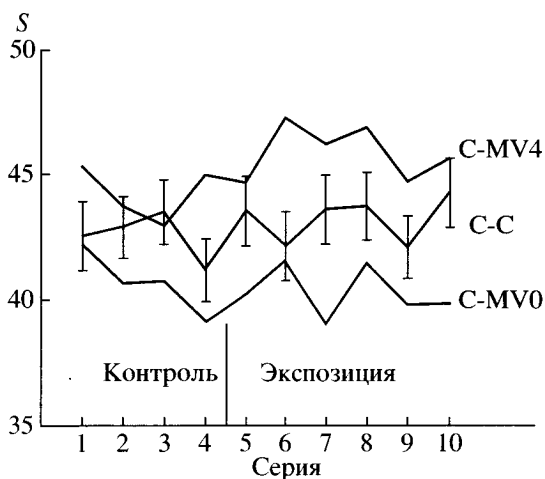


Рис. 2. Результаты испытаний в тестировании цветовой памяти. Для каждой серии указаны средняя величина по испытаниям и испытуемым. Стандартная ошибка средней величины приведена только для “шам”-экспериментов.

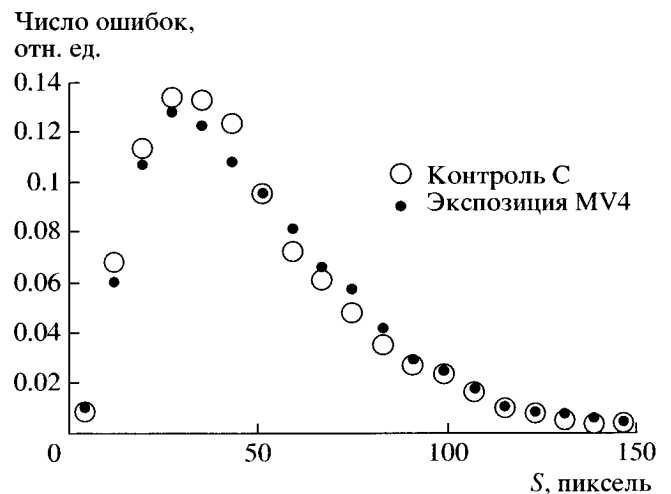


Рис. 3. Распределения (гистограммы) ошибок определения цвета S в экспериментах C-MV4.

туемым-мужчинам, участвовавшим в экспериментах С-MV4). Заметно преобладание результатов испытаний с большими ошибками $S > 50$ в условиях ослабленного МП по сравнению с контрольными условиями. Наоборот, число испытаний с малыми ошибками $S < 50$ в ослабленном МП уменьшалось.

На рис. 4 показана динамика изменения времени реакции испытуемых в тесте на скорость простой двигательной реакции. Замедление реакции во второй и следующих сериях обусловлено, вероятно, монотонным характером теста. В 7-й серии виден незначительный рост времени реакции t . Разность средних величин в контроле (2–4-я серии) 0.2572 ± 0.0839 и в “опыте” (5–10-я серии) 0.2627 ± 0.095 малозначима, $p = 0.088$. Поскольку этот тест не выполнялся в режиме ложного эксперимента, то результаты измерения времени реакции в ослабленном МП следует считать предварительными.

Из 33 экспериментов 8 были проведены в условиях значительно сниженного электрического поля. Эти две группы экспериментов также показали значимые различия в индексе цветовой памяти S (см. табл. 2). Поскольку все эксперименты с электростатическим экраном были типа С-MV0, отличия цветовой памяти в экспериментах С-MV0 и С-MV4 могли быть обусловлены этим обстоятельством, а не разностью магнитных экспозиций.

Известно, что магнитобиологические эффекты обладают не слишком высокой воспроизводимостью. Причем в одной и той же лаборатории эффекты, как правило, хорошо воспроизводимы. Затруднено получение идентичных результатов в разных лабораториях. По нашему мнению, это может быть вызвано несколькими причинами. Во-первых, имеет место индивидуальная чувствительность к электромагнитным полям. Так по данным [18], 1.5% жителей Стокгольма гиперчувствительны к электромагнитным полям. Во-вторых, эффекты электромагнитного поля могут быть обусловлены действием других возмущающих факторов. Исследования [19] показали, что лишь совместное действие ЭМП и акустического шума значительно изменяло визуальное внимание и память человека. Третья и, возможно, главная причина – трудность создания одинаковых физических, в частности электромагнитных, условий в разных лабораториях. Далекое не все исследователи биологических эффектов ЭМП контролируют уровень постоянного магнитного поля. Незвестны работы, в которых контролируют электростатическое поле в месте проведения эксперимента, хотя соображения о молекулярной природе магнитобиологических эффектов требуют такого контроля.

Таблица 2. Статистические ошибки определения цвета S в объединенных по всем сериям выборках

Группа	Среднее	σ^2	N	p
Женщины	40.37	705.6	12000	$<10^{-5}$
Мужчины	44.68	928.8	20908	
Фоновое ЭП	44.43	909.7	26908	$<10^{-5}$
Электростатический экран	37.2	548.9	6000	

В настоящей работе показано, что существует тенденция к ухудшению кратковременной памяти на цвет уже после 10-минутного нахождения человека в ослабленном МП. Впервые показано, что экранирование внешнего электрического поля может улучшить точность измерения магнитобиологических эффектов. По-видимому, достоверность вывода о действии магнитного вакуума на когнитивные процессы будет существенно повышена за счет организации однородности выборок путем устранения медленных флуктуаций МП и использования постоянного электрического поля, близкого к естественному, но неизменно в ходе эксперимента.

В целом, предложенный метод, включающий систему магнитной экспозиции с электростатическим экраном и программное обеспечение, позволяет регистрировать отклонения в параметрах кратковременной цветовой памяти и ряда других проявлений высшей нервной деятельности с точностью, достаточной для исследования влияния магнитного вакуума на человека.

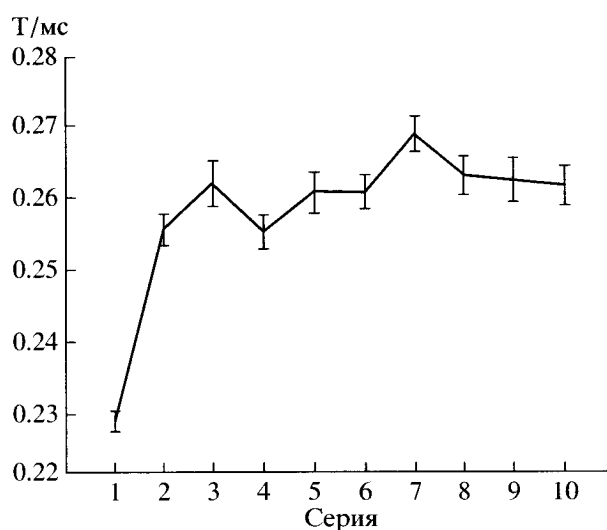


Рис. 4. Результаты теста на скорость реакции в экспериментах С-MV4. Для каждой серии указаны средняя величина по испытаниям и по испытуемым и ее стандартная ошибка.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 04-04-97298.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодов Ю.А., Н.Н. Лебедева // Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля. М.: Наука. 136 с.
2. Cook C.M., Thomas A.W., Prato F.S. // *Bioelectromagnetics* 2002. V. 23. № 2. P. 144–157.
3. Crasson M. // *Radiat. Prot. Dosim.* 2003. V. 106. № 4. P. 333–340.
4. Preece A.W., Wesnes K.A., Iwi G.R. // *Int. J. Radiat. Biol.* 1998. V. 74. № 4. P. 463–470.
5. Whittington C.J., Podd J.V., Rapley B.R. // *Bioelectromagnetics*. 1996. V. 17. № 2. P. 131–137.
6. Papi F., Ghione S., Rosa C. et al. // *Bioelectromagnetics*. 1995. V. 16. № 5. P. 295–300.
7. Podd J., Abbott J., Kazantzis N., Rowland A. // *Bioelectromagnetics*. 2002. V. 23. № 3. P. 189–195.
8. Kazantzis N., Podd J., Whittington C. // *Bioelectromagnetics*. 1998. V. 19. № 5. P. 310–317.
9. Vazquez-Garcia M., Elias-Vinas D., Reyes-Guerrero G. et al. // *Physiol. Behav.* 2004. V. 82. № 4. P. 685–690.
10. Bell G.B., Marino A.A., Chesson A.L., Struve F.A. // *Lancet*. 1991. V. 338. № 8781. P. 1521–1522.
11. Lyskov E., Juutilainen J., Jousmaki V. et al. // *Int. J. Psychophysiol.* 1993. V. 14. № 3. P. 227–231.
12. Cook C.M., Thomas A.W., Prato F.S. // *Bioelectromagnetics*. 2004. V. 25. № 3. P. 196–203.
13. Crasson M., Legros J.J., Scarpa P., Legros W. // *Bioelectromagnetics*. 1999. V. 20. № 8. P. 474–486.
14. Blackman C.F., Benane S.G., Rabinowitz J.R. et al. // *Bioelectromagnetics*. 1985. V. 6. № 4. P. 327–337.
15. Бингу В.Н. // *Магнитобиология: эксперименты и модели*. М.: МИЛТА, 2002. С. 345–358.
16. Binhi V.N., Savin A.V. // *Phys. Rev. E*. 2002. V. 65. № 051912. P. 1–10.
17. Choleris E., Del Seppia C., Thomas A.W. et al. // *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2002. V. 269. № 1487. P. 193–201.
18. Hillert L., Berglind N., Arnetz B.B., Bellander T. // *Scand. J. Work. Environ. Health*. 2002. V. 28. № 1. P. 33–41.
19. Trimmel M., Schweiger E. // *Toxicol. Lett.* 1998. V. 96–97. P. 377–382.

Поступила в редакцию
08.12.2004

The Method of Studying of the “Magnetic Vacuum” Effect on the Psychophysiological State of the Human

V. N. Binhi, A. A. Zarutsky, S. V. Kapranov, S. N. Kotelnikov, V. A. Milyaev, R. M. Sarimov

*General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991 Russia;
e-mail: info@biomag.info*

The method for studying the effects of weak magnetic fields and “magnetic vacuum” on the psychophysiological state of a human organism is proposed. This method includes the system of the exposure of a human organism to uniform constant and alternating magnetic fields and the system of computerized psychological tests. The influence of the weakening of constant magnetic field on the psychophysiological state of human organisms was studied. The short-term color memory and reaction rates of 30 subjects have been examined in the local geomagnetic field and in a magnetic field which was reduced in 10 and more times. Statistically significant differences in the color memory test was found in the magnetic field $4 \pm 1 \mu\text{T}$ in comparison with the results in the geomagnetic field. In the magnetic field $0 \pm 1 \mu\text{T}$, slight impairment of color memory was found. Preliminary results in the test of reaction rates showed the tendency to slowing down the reaction rates in the weakened magnetic fields.