

**Виктор Семенович
Мартынюк** —

к.б.н., доц. каф. биохимии
Симферопольского государственного
университета.

Научные интересы:
исследование физико-химических,
клеточных и биохимических
механизмов действия магнитных
полей на живые системы



**Наталья Арменаковна
Темурьянц** —

д.б.н., проф. каф. физиологии
человека и животных
Симферопольского государственного
университета.

Научные интересы:
исследование системных механизмов
действия магнитных полей
естественного и искусственного
происхождения на организм
человека и животных

Биологическая активность переменных магнитных полей, генерируемых в электропоездах

*В.С.Мартынюк, Н.А.Темурьянц,
Н.Б.Кучина, З.А.Овечкина, С.Б.Мартынюк*

С целью оценки биологической активности переменных магнитных полей, генерируемых электричками и электропоездами, проведены исследования воздействия магнитного поля частотой 0,5 Гц на метаболическую ситуацию в миокарде и печени животных. Установлено, что длительное воздействие данного фактора приводит к разнонаправленным метаболическим сдвигам в миокарде и печени. Отмечены половые различия в реактивности животных на воздействие переменным магнитным полем.

The assessment of biological activity of variable magnetic fields (VMF), generated electrotrains, is actual now. The researches of effect of magnetic field with frequency of 0.5 Hz on metabolic situation in the myocardium and liver of animals are conducted. It was revealed, that the long duration effect of the given factor results to different metabolic shifts in the myocardium and liver. The thial pool is more sensitive to VMF influence in hort. The statistically significant shifts are found for energy parameters in liver. The sexual differences in the reactivity of animals on VMF influence are marked.

Электромагнитные поля (ЭМП) естественного и искусственного происхождения в настоящее время рассматривают как один из важных экологических факторов [1]. Резкое повышение электромагнитного фона, в том числе и в рекреационных зонах, связано, главным образом, с интенсивным внедрением в различные сферы деятельности компьютерных технологий, средств коммуникаций, электронно-механической аппаратуры и электротранспорта. Широкое применение электромагнитной энергии имеет двойное действие, так как, с одной стороны, способствует повышению качества жизни, развитию новых технологий и устойчивому развитию общества, а с другой — возникает проблема возможных неблагоприятных медико-биологических последствий "электромагнитного загрязнения".

За последние два десятилетия было выполнено огромное количество исследований влияния искусственных ЭМП на состояние здоровья человека. В большинстве работ основной акцент делался на промышленные частоты 50 - 60 Гц [2]. Установлено, что при воздействии переменного магнитного поля (ПсМП) на организм животных и человека происходят разнонаправленные изменения параметров нейроэндокринной регуляции [3], системы крови [4], функциональной активности сердечно-сосудистой системы [5], обменных процессов в разных тканях [6]. Однако неизученным остается вопрос о возможном биологическом действии ПсМП, генерируемых электротранспортом, которые дают основной вклад в магнитное окружение городской среды [7].

Между тем зарегистрирован рост заболеваний раком у мужчин, лейкозией, болезнью сердечно-сосудистой системы у лиц, работающих на железной дороге [7]. Установлено, что у машинистов электролоко-

лотивов (EL) риск заболеваний ишемической болезнью сердца (ИБС) в два раза выше, чем у машинистов электричек (ЕМУ). Анализ ситуации показывает, что фактором повышенного риска этих заболеваний могут являться ПЕМП, генерируемые электродвигателями локомотивов и электричек.

Измерения вариаций ПЕМП электротранспорта были проведены с помощью магнитометрической системы, разработанной в Санкт-Петербургском филиале ИЗМРАН (Россия), позволяющей проводить регистрацию трех составляющих МП. Установлено, что МП-вариации обладают такой же иррегулярностью, как и естественные геомагнитные возмущения, а основной частотный диапазон находится в пределах $\theta - 10$ Гц. Распределение амплитуд в спектрах МП-вариаций в целом описывается функцией $1/f$. В то же время отмечена более высокая вероятность выявления периодических составляющих на частотах, равных примерно 0,5 Гц в электричках, и на частотах 5–10 Гц в электролокомотивах. Биологическая активность таких ПЕМП остается неизученной.

В связи с этой целью настоящей работы явилось изучение влияния ПЕМП с характеристиками, близкими к магнитным полям, генерируемым электротранспортом, на метаболическую ситуацию в миокарде и печени животных.

Материалы и методы

Экспериментальная часть работы выполнена на белых беспородных мышах – самцах и самках одного возраста с учетом их индивидуально-физиологических особенностей, установленных в тесте “открытого поля”. Были сформированы однородные группы животных, одинаково реагирующих на действие разнообразных факторов.

Воздействие магнитным полем частотой 0,5 Гц и индукцией 15 мкТл на белых мышей осуществляли ежедневно по 3 ч в течение 15 дней. Длительность импульсов и межимпульсных интервалов характеризовались случайным распределением. Магнитное поле создавали с помощью колец Гельмгольца. Генерацию импульсов осуществляли с помощью генератора Г6-28. Контроль индукции ПЕМП осуществляли микротесламетром Г-79. Переменное МП было направлено перпендикулярно по отношению к горизонтальной компоненте геомагнитного. Контрольная группа животных находилась в той же лаборатории вне колец Гельмгольца при всех прочих равных условиях. Интенсивность фоновых ПЕМП в месте расположения биологического контроля была в пределах 0,05–0,30 мкТл, характерных для данной лаборатории.

В настоящей работе эффективность биологического действия ПЕМП оценивали по биохимическим показателям функциональной активности миокарда и печени. Активность ферментов энергетического обмена *альфа*-кетоглутаратдегидрогеназы [8], сукцинатдегидрогеназы [9] и НАД-дегидрогеназы [10] определяли спектрофотометрическими методами. Об активности процессов перекисного окисления судили по уровню ТБК-активных продуктов (ТБК-АП) в исследуемых тканях [11]. Состояние антиоксидантной системы тканей изучали по белковой и небелковой супероксидантодисульфатной (СОД) активности [12], а



**Наталья Борисовна
Кучина** —

асп. каф. биохимии
Симферопольского государственного
университета.

Научные интересы:
исследование биохимических
механизмов действия магнитных
полей на живые системы



**Зоя Александровна
Овечкина** —

ассист. каф. биохимии
Симферопольского государственного
университета

Научные интересы:
исследование биохимических
механизмов действия магнитных
полей на живые системы



**Светлана Борисовна
Мартынюк** —

асп. каф. физиологии человека
и животных Симферопольского
государственного университета.

Научные интересы:
исследование индивидуальной
чувствительности к действию
магнитных полей на организм
человека и животных



также по концентрации тиоловых белковых и небелковых групп [13] и активности глутатионредуктазы и глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы [14].

Для статистической оценки достоверности влияния ПеМП на исследуемые метаболические процессы использовали критерий Стьюдента.

Результаты исследования

Установлено, что ежедневное трехчасовое воздействие ПеМП приводит к изменениям поведенческих реакций животных, а также к разнонаправленным метаболическим сдвигам в миокарде и печени. На рис.1 продемонстрировано изменение метаболических показателей в миокарде животных после многодневной экспозиции в ПеМП. Как видно, наиболее выраженные и статистически значимые изменения были выявлены для тиол-дисульфидного обмена и сопряженных с ним ферментативных систем. При этом характер данных метаболических сдвигов у самцов и самок разный. Так, у самцов выявлено снижение на 28 % активности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, тогда как у самок обнаружено 50%-ное снижение содержания белковых тиоловых групп. Изменения остальных показателей носят недостоверный характер. Однако более детальный анализ показывает, что в их изменении существуют взаимосвязанные устойчивые тенденции.

Так, например, достоверное снижение активности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы у самцов сопровождается некоторым снижением концентрации небелковых тиолов. Подобные изменения, видимо, связаны с тем, что указанный фермент является одним из поставщиков восстановленной формы НАДФН*Н⁺ для глутатионредуктазы, которая в свою очередь восстанавливает глутатин. Тиоловые группы глутатиона, как известно, вносят основной вклад в клеточный пул небелковых тиолов. Снижение содержания глутатиона в клетках, как одного из ключевых элементов антиоксидантной защиты, должно приводить к активации процессов липидной перекисидации. Действительно, в условиях нашего эксперимента концентрация продуктов перекисной деградации липидов возрастала на 26% (см. рис.1,а). Тенденцию к повышению уровня белковых тиолов следует рассматривать как компенсаторный процесс, препятствующий значительному изменению суммарного окислительно-восста-

новительного потенциала ткани миокарда, вызываемого снижением уровня небелковых тиолов.

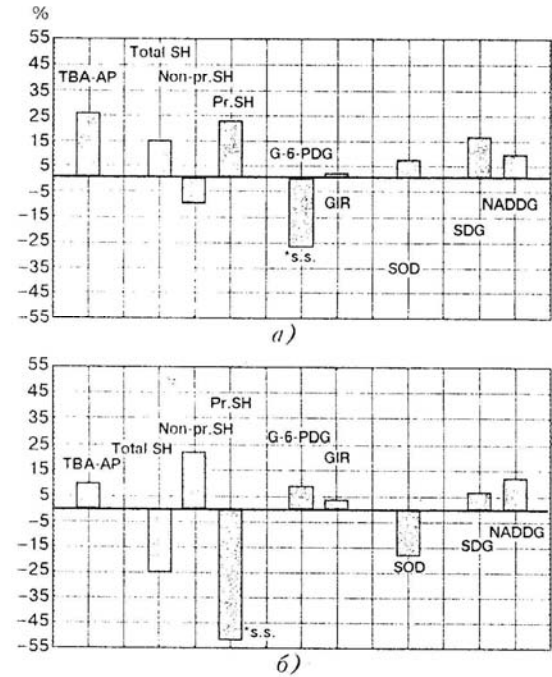


Рис.1. Влияние ПеМП на метаболическую ситуацию в сердце мышцей – самцов (а) и самок (б) (в процентах относительно группы биологического контроля): TBA-AP – ТБК-активные продукты; total SH – общесульфиды; non-pr.SH – небелковые тиолы; pr.SH – белковые тиолы; G-6-PDG – глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа; GIR – глутатионредуктаза; SOD – супероксиддисмутаз; SDG – сукцинатдегидрогеназа; NADDG – NAD-дегидрогеназа; α-KGDG – α-кетоглутаратдегидрогеназа; *ss – статистически достоверные изменения (p < 0,05)

У самок многодневное действие ПеМП наоборот приводит к значительному снижению концентрации белковых тиолов (см. рис.1,б), которое компенсируется повышением концентрации небелковой компоненты тиолового пула. Это, вероятно, вызвано активацией ферментов пентозофосфатного шунта, сопряженных с тиол-дисульфидным обменом, в частности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы и 6-фосфоглюконатдегидрогеназы. В то же время незначительное повышение уровня небелковых тиолов, обладающих СОД-активностью, види-

мо, компенсирует снижение активности белковой СОД. Следует отметить, что на фоне указанных изменений в состоянии тиол-дисульфидного обмена, вызванных влиянием ПеМП, в миокарде как у самцов, так и у самок, активность глутатионредуктазы практически не изменяется. Данный факт, видимо, свидетельствует о том, что в миокарде глутатионредуктаза не является лимитирующим звеном в системе регуляции концентрации небелковых тиолов. Таким образом, многодневное воздействие ПеМП частотой 0,5 Гц приводит к изменениям процессов тиол-дисульфидного обмена в миокарде животных.

Вместе с тем обнаружена незначительная активация ферментов энергетического обмена как у самцов, так и у самок. Однако указанные изменения не превышают 15 % и носят недостоверный характер, что позволяет говорить лишь об устойчивой тенденции к активации энергетических процессов в миокарде в ответ на действие ПеМП.

Анализ метаболической ситуации в печени животных также свидетельствует о разной реакции самцов и самок на действие ПеМП. Как видно, у самцов не выявлено статистически значимых изменений состояния перекисного окисления липидов, тиолового пула и антиоксидантной системы (рис.2,а). Активность основных ферментов энергетического обмена — СДГ и НАД-дегидрогеназы — также достоверно не изменялась. Исключение составляет *альфа*-кетоглутаратдегидрогеназа, активность которой повышается почти в 1,5 раза ($p < 0,05$). Активация данного фермента может свидетельствовать об усилении сопряжения метаболизма белков с энергетическим обменом, в частности о более активном использовании *амино*- и *альфа*-кетокислот в качестве энергетического субстрата (цикл Браунштейна). Это в свою очередь указывает на активацию катаболических процессов в организме, имеющих место при развитии неспецифических адаптационных реакций организма типа тренировки, активации и стресса [4, 15].

В печени самок выявлены более значимые сдвиги в энергообеспечении тканей. Как видно (рис.2,б), здесь имели место реципрокные изменения активности СДГ и НАД-зависимых дегидрогеназ. В частности, вызванное действием ПеМП достоверное снижение активности СДГ компенсировалось синхронным повышением активности НАД-дегидрогеназы и *альфа*-кетоглутаратдегидрогена-

зы, что, вероятно, обеспечивало оптимальный режим работы дыхательной цепи митохондрий.

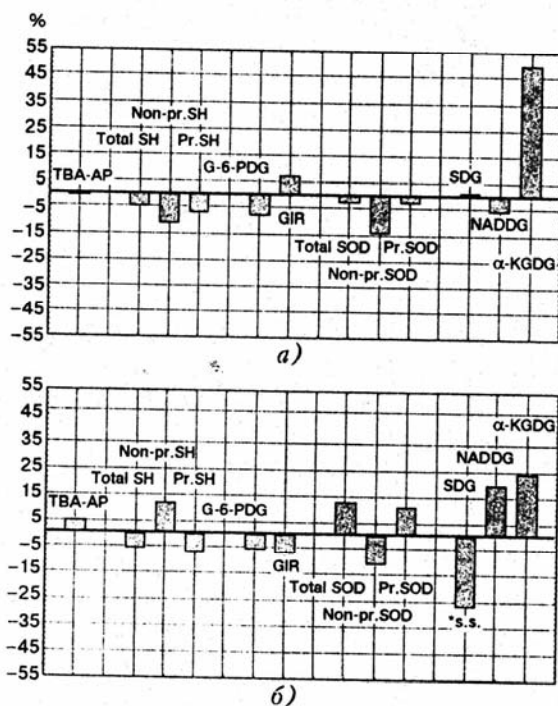


Рис.2. Влияние ПеМП на метаболическую ситуацию в печени мышей — самцов (а) и самок (б) (обозначения см. рис.1)

Таким образом, длительное воздействие ПеМП частотой 0,5 Гц и индукцией 15 мкТл приводит к разнонаправленным метаболическим сдвигам в миокарде и печени. В частности, в миокарде более чувствительным к действию указанного фактора является тиоловый обмен. Данный вывод также подтверждается результатами ранее проведенных исследований временной динамики уровня тиолов в миокарде белых мышей при воздействии ПеМП [11]. В печени наибольшие сдвиги претерпевали показатели энергетического обмена.

Необходимо также отметить половые различия в реактивности на воздействие ПеМП. Учитывая общие тенденции в степени метаболических сдвигов в исследуемых тканях (см. рис.1 и 2), можно с уверенностью отметить, что самки более реактивны, чем самцы. Одновременно с этим метаболические



сдвиги у самок носят более скоррелированный характер по сравнению с самцами.

Заключение

Следует отметить, что частота магнитного поля 0,5 Гц может быть отнесена к группе биологически активных частот. Это указывает на актуальность дальнейших исследований биологической эффективности электромагнитных вариаций, генерируемых различными видами электротранспорта, на необходимость их гигиенического нормирования и разработки средств защиты от возможного неблагоприятного действия на состояние здоровья машинистов электропоездов и пассажиров. Несмотря на обилие

работ, посвященных гигиеническому нормированию магнитных полей низкочастотного диапазона [16], эффективность профилактики их неблагоприятного влияния является крайне низкой вследствие недостаточности сведений о биохимических и физиологических механизмах действия как на уровне тканей, так и на уровне организма, как целостной системы. Принимая во внимание сложный спектр МП-вариаций по трем компонентам, необходимо проведение комплексных исследований биологической активности как отдельных частот, так и ПМП типа $1/f$, параметры которых близки к измеренным в электротранспорте.

Работа выполнена в рамках Международного проекта "IMMORTALITY" ERBIC15CT960303.

Литература

1. Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. — Киев: Наук. думка, 1992.
2. Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic.
3. Fields//NIEHS Working group report National Institute of Environmental Health Sciences of the National Institutes of Health. USA, 1998.
3. Мороз В.В. Функционально состояние гипофизарно-надпочечниковой системы при действии низкочастотного переменного поля. — Биологические механизмы и феномены действия низкочастотных и статических электромагнитных полей на живые системы. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 1984.
4. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. — Ростов-н/Д.: Из-во Рост. ун-та, 1990.
5. Пирузян Л.А., Лазарев А.В., Кицташвили Т.Ш. и др. Воздействие низкочастотного магнитного поля на натриевый ток миокардиальных клеток. — ДАН СССР, 1984, т.274, №4.
6. Удинцев Н.А., Иванов В.В., Мороз В.В. Влияние низкочастотных магнитных полей на обмен веществ и его регуляцию. — Биологические эффекты электромагнитных полей. Вопросы их использования и нормирования. — Пущино-на-Оке, 1986.
7. Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Дорман Л.И. и др. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья. — Успехи физических наук, 1998, т.168, №7.
8. Спечкуте М.А., Галемжа А.А. Изучение каталитических свойств альфа-кетоглутаратдекарбоксилазы из мозга быка. — Биохимия, 1976, Т.41, вып.3.
9. Кривченко Р.С. Определение активности сукцинатдегидрогеназы в суспензии митохондрий — В кн.: "Современные методы в биохимии. — М.: Медицина, 1977.
10. Карузина И.И., Арчаков А.И. Выделение микросомной фракции печени и характеристика ее окислительных систем. — В кн.: "Современные методы в биохимии". — М.: Медицина, 1977.
11. Мартышиок В.С. Влияние слабых переменных магнитных полей инфранизких частот на временную организацию физиологических процессов. Дис. ... канд. биол. наук. — Симферополь, 1992.
12. Nishirimi M., Rao N.A., Yagi K. — Analyt. Biochem. Biophys. Res. Commun, 1972, v.46.
13. Вережкина И.В., Точилкин А.И., Попова Н.А. Колориметрический метод определения SH-групп и -S-S-связей в белках припомощи 5,5-дигиобис (2-нитробензойной) кислоты. — Современные методы в биохимии. — М.: Медицина, 1977.
14. Методы биохимических исследований: Сб. науч. трудов. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1982.
15. Физиология адаптационных процессов (Руководство по физиологии) / Отв. ред. П.Г.Костюк. — М.: Наука, 1986.
16. Давыдов Б.И., Тихончук В.С., Антипов В.В. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений. — М.: Энергоатомиздат, 1984.

Поступила 15 января 1999 г.