

# НОРМАЛИЗУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВЕГЕТАТИВНУЮ НЕРВНУЮ СИСТЕМУ КРЫС

*О. В. Глухова, В. В. Баркин, К. Ю. Краюхина, Е. П. Лобкаева*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

В последние годы большое внимание уделяется разработке и внедрению в биологию и медицину современных технологий, основанных на эффектах низкоинтенсивного электромагнитного поля (ЭМП) различных частотных диапазонов [1]. Биологические эффекты низкоинтенсивных полей, согласно гипотезе Пресмана [2], обусловлены, информационным воздействием. Биологические отклики при этом не сопровождаются нагревом тканей и структурными изменениями в организме.

Имеются доказательства высокой чувствительности к действию низкоинтенсивного магнитного поля вегетативной нервной системы [3–6]. Одним из наиболее показательных методов исследования состояния вегетативной нервной системы (ВНС) является оценка вариабельности сердечного ритма (ВСР). Анализ ВСР является важным звеном на пути выявления биологических эффектов и поиска механизмов действия слабых магнитных полей (МП) [7, 8].

Наблюдаемая у нелинейных крыс в условиях свободного бодрствования гетерогенность по напряженности механизмов регуляции сердечного ритма заставляет исследователей уделять пристальное внимание зависимости отклика организма животных от нейровегетативного статуса [9]. В ряде работ было показано, что импульсное магнитное поле снижает тонус вегетативной нервной системы животных с высоким исходным вегетативным статусом до уровня нормотонии [5, 6, 10]. Наряду с этим, важной детерминантой реактивности вегетативной нервной и сердечно-сосудистой систем на экзогенное воздействие является половая принадлежность.

Целью данной работы является исследование воздействия низкочастотного импульсного магнитного поля (НЧ ИМП) на состояние вегетативной нервной системы крыс, самцов и самок с различным вегетативным статусом.

## Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись нелинейные белые крысы – самки и самцы массой от 200 до 250 граммов. Животные содержались в условиях лабораторного вивария при комбинированном освещении и свободном доступе к корму и воде. В качестве корма использовали стандартный гранулированный полнорационный комбикорм ГОСТ Р 50258-92, производства Тураково.

Источником МП являлась магнитотерапевтическая установка УМТИ-3Ф, генерирующая вихревое НЧ ИМП. Воздействующий сигнал НЧ ИМП представлял по форме затухающую синусоиду частотой 100 Гц, частота следования импульсов 1 Гц. Параметры МП соответствовали режиму МП1 (табл. 1) [5]. Общее время экспозиции составляло 30 минут.

Таблица 1

Параметры воздействия низкочастотного импульсного магнитного поля

Продолжительность экспонирования, мин	Максимальное значение модуля магнитной индукции в центре контейнера ( $ B _{\max}$ ), мТл
10	1,40
10	3,15
10	1,40

Оценку влияния НЧ ИМП проводили на основе результатов исследования ВСР животных. В анализе использовали интегральные показатели ВСР, относящиеся к разным методам: стресс-индекс (вариационной пульсометрии Р. М. Баевского), коэффициент вариации (временной анализа), общая мощность спектра (спектральный анализ) – являющиеся маркерами функционального состояния организма. Стресс-индекс (SI, у. е.) показывает степень централизации управления сердечным ритмом, позволяет судить о степени напряжения регуляторных систем. Коэффициент вариации (CV, %) характеризует вариабельность сердечного ритма в целом. Общая мощность спектра (TP,  $\text{мс}^2$ ) отражает суммарную активность вегетативных влияний на сердечный ритм.

Регистрацию кардиосигнала осуществляли с помощью лабораторного кардиографа во втором стандартном отведении. Использовали подкожные электроды в виде миниатюрной английской булавки, изготовленной из диамагнитного металла (бронза). Места установки электродов (холка) обезболивали введением 0,5 мл раствора лидокаина.

Оценивали реакцию на действие НЧ ИМП самцов и самок с разным типом вегетативной регуляции. Животных фиксировали по одному в специальном пенале из оргстекла и в течение 15 минут проводили адаптацию к условиям эксперимента. Затем в течение 1 минуты регистрировали кардиосигнал,

обрабатывали его и определяли исходный вегетативный статус (ИВС). Критерием идентификации ИВС являлось значение стресс-индекс (SI): ваготония –  $SI \leq 2429$  у. е., нормотония –  $2429 \leq SI \leq 5463$  у. е., симпатотония –  $5463 \leq SI \leq 8500$  у. е. и гиперсимпатотония –  $SI \geq 8500$  у. е. [5, 11].

Для оценки отклика организма на действие НЧ ИМП осуществляли регистрацию кардиосигнала на 1-й, 15-й и 30-й минутах после экспонирования, а также спустя трое суток.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием t-критерия Стьюдента и критериев Манна – Уитни и Уилкоксона [12, 13]. Значимыми считали различия при уровне  $p \leq 0,05$ .

## Результаты и их обсуждение

Анализ результатов показал, что массив животных отличался разбросом значений стресс-индекса, и, соответственно, гетерогенностью нейровегетативного статуса. Как среди самцов, так и самок были выделены животные с нормотоническим, симпатотоническим и гиперсимпатотоническим типами вегетативной регуляции (рис. 1).

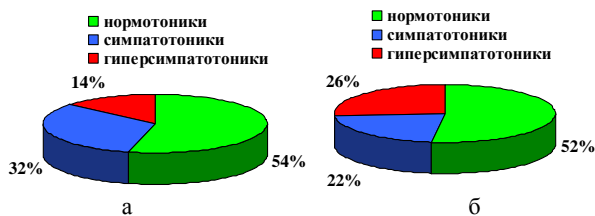


Рис. 1. Процентное распределение животных обоих полов по исходному типу вегетативной регуляции: а – самцы, б – самки

Полученные средние значения показателей SI, TP и CV в соответствии с типом вегетативной регуляции представлены в табл. 2.

Животные с симпатотоническим и гиперсимпатотоническим типом вегетативной регуляции характеризовались высокими значениями SI и низкими значениями TP, CV, что свидетельствует об исход-

ном отчетливом превалировании адренергических механизмов регуляции сердечного ритма. Значения показателей ВСП, зарегистрированные в группе животных с нормотоническим типом вегетативной регуляции, свидетельствовали об отсутствии такого отчетливого превалирования (значения SI у данной группы животных были на 31 % ниже, а значения TP и CV – на 50 % и 45 % выше, чем у симпатотоников).

Таблица 2

Значения показателей ( $M \pm m$ ) SI, TP и CV, соответствующие типу вегетативной регуляции экспериментальных групп

Тип вегетативной регуляции	SI, у. е.	TP, мс <sup>2</sup>	CV, %
<b>Самцы (n = 28)</b>			
Нормотония	4629 ± 176	3,82 ± 0,47	2,63 ± 0,13
Симпатотония	6694 ± 321	2,54 ± 0,56	1,81 ± 0,12
Гиперсимпатотония	9823 ± 681	1,86 ± 0,21	1,43 ± 0,20
<b>Самки (n = 27)</b>			
Нормотония	4182 ± 220	5,61 ± 1,07	2,81 ± 0,12
Симпатотония	6294 ± 751	3,05 ± 1,17	1,82 ± 0,21
Гиперсимпатотония	10112 ± 528	1,45 ± 0,22	1,33 ± 0,10

### Результаты исследования реакции ВНС самцов

Результаты исследования реакции ВНС крыс-самцов с различным типом вегетативной регуляции представлены на рис. 1, и .

Анализ динамики SI самцов с нормотоническим типом вегетативной регуляции, подвергавшихся воздействию НЧ ИМП, показательных изменений относительно ИВС не выявил. У животных-симпатотоников непосредственно после воздействия НЧ ИМП наблюдали снижение значения SI на 25 % относительно ИВС ( $p \leq 0,05$ ). Дальнейшее наблюдение показало устойчивость выявленных отклонений, в течение 30 минут после окончания воздействия значения стресс-индекса оставались на уровне 18–21 % ниже

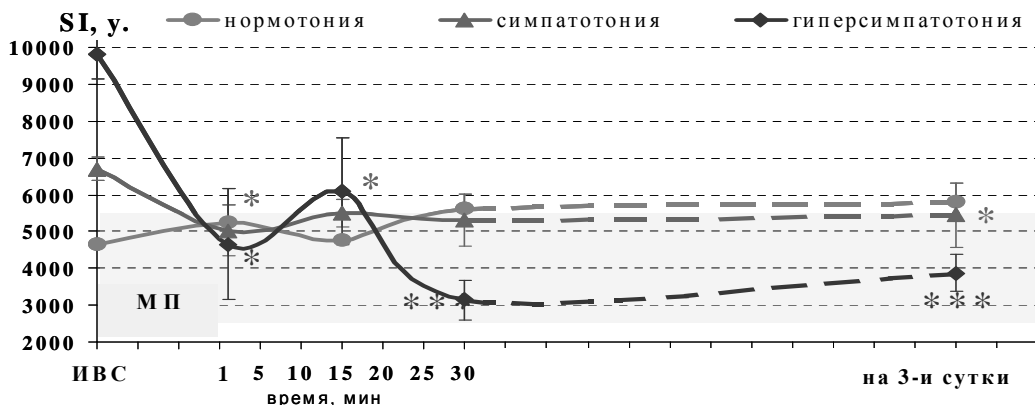


Рис. 2. Динамика стресс-индекса (SI) крыс-самцов после воздействия НЧ ИМП: \*, \*\*\* – статистически значимое отличие от исходного уровня  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,001$ ; [ ] – граница диапазона нормотонии (от 2429 до 5463 у. е.)

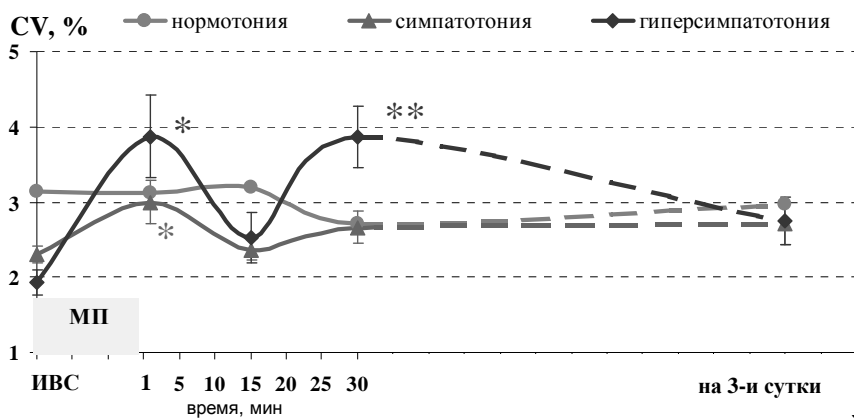


Рис. 3. Динамика коэффициента вариации (CV) крыс-самцов после воздействия НЧ ИМП: \*, \*\*\* – статистически значимое отличие от исходного уровня  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,001$

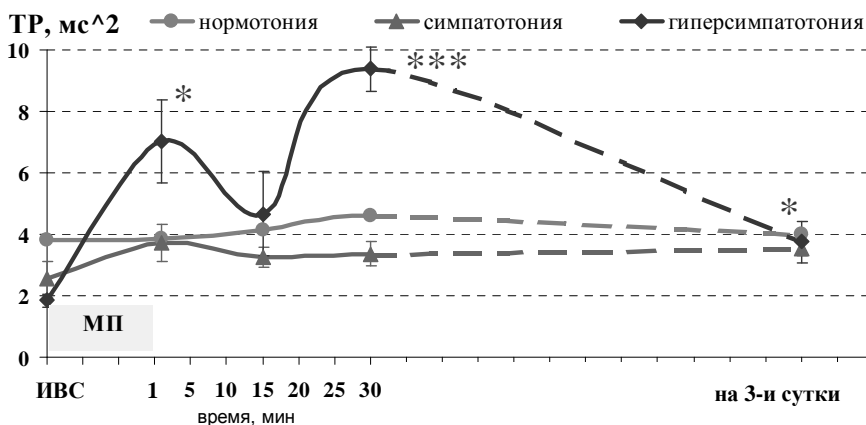


Рис. 4. Динамика общей мощности спектра (TP) крыс-самцов после воздействия НЧ ИМП: \*, \*\*\* – статистически значимое отличие от исходного уровня  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,001$

исходного ( $p \leq 0,05$ ). Через трое суток после воздействия НЧ ИМП значение показателя SI находилось на уровне ниже ИВС на 19 % ( $p \leq 0,05$ ). Воздействие НЧ ИМП привело у животных с исходным гиперсимпатотоническим вегетативным статусом к значительному (в 2,1 раза,  $p \leq 0,05$ ) снижению значения SI относительно ИВС. Тенденция к снижению данного показателя сохранялась в течение всего периода наблюдения, к 30-й минуте после воздействия значение стресс-индекса находилось на уровне в 3,2 раза ( $p \leq 0,001$ ) ниже ИВС. Спустя трое суток после экспонирования эффект сохранялся, о чем свидетельствовало нахождение значения SI на уровне в 2,5 раза ниже исходного ( $p \leq 0,001$ ).

Согласно Баевскому [7], показатель SI отражает функциональное состояние организма и характеризует степень преобладания тонуса симпатического отдела ВНС и уровень напряженности регуляторных систем организма [14]. Таким образом, наблюдаемое нами после воздействия НЧ ИМП снижение данного показателя у симпто- и гиперсимпатотоников свидетельствует о снижении активности симпатического отдела ВНС и значительном снижении уровня напряженности регуляторных систем. Следует подчеркнуть, что воздействия НЧ ИМП привело к формированию у животных устойчивого состояния нормотонии.

Результаты временного анализа также свидетельствовали об изменениях в состоянии ВНС крыс. Причем, у самцов с нормотоническим типом вегетативной регуляции после воздействия НЧ ИМП существенных изменений значений коэффициента вариации (CV) не отмечали. У самцов-симпатотоников сразу после воздействия НЧ ИМП наблюдали возрастание значения CV на 38 % относительно ИВС ( $p \leq 0,05$ ). Спустя 3-е суток значение CV находилось на уровне выше исходного на 23 %. У гиперсимпатотоников наблюдали более заметный рост CV. Сразу после воздействия НЧ ИМП значение CV превысило уровень ИВС в 2,4 раза ( $p \leq 0,05$ ), данная реакция сохранялась до окончания 30-минутного наблюдения после окончания экспонирования ( $p \leq 0,001$ ). На третьи сутки обнаружили сохранение эффекта, значение CV находилось на уровне, превышающем ИВС на 57 % ( $p \leq 0,05$ ).

Устойчивое статистически значимое увеличение параметра CV, отражающего суммарную изменчивость сердечного ритма в целом, регистрируемое после воздействия у симпатотоников и гиперсимпатотоников, свидетельствует о возрастании в регуляции сердечного ритма роли автономного контура и парасимпатического звена регуляции.

Спектральный анализ показал, отсутствие у самцов-нормотоников, подвергшихся воздействию НЧ ИМП выраженных изменений общей мощности спектра (ТР). У симпатотоников сразу после окончания воздействия НЧ ИМП зарегистрировали увеличение значения ТР на 46 % относительно ИВС. Данный показатель оставался на том же уровне в течение 30 минут после воздействия, а также спустя 3 суток. Однако отклик не был статистически значимым. У самцов-гиперсимпатотоников сразу после окончания воздействия НЧ ИМП зафиксировали возрастание ТР в 3,8 раза ( $p \leq 0,05$ ). К 30-й значение ТР превысило уровень ИВС в 5 раз ( $p \leq 0,001$ ). Спустя 3-е суток после воздействия НЧ ИМП значение ТР снизилось, но продолжало оставаться на уровне более высоком относительно ИВС (на 39 %,  $p \leq 0,05$ ). При этом величина ТР соответствовала значению данного параметра для животных с нормотоническим типом вегетативной регуляции.

Известно, что общая мощность спектра отражает активность высших вегетативных центров гипоталамо-гипофизарного уровня [15]. При этом, увеличение ТР приводит к активации нижележащих уровней управления, что в свою очередь говорит об усилении активности автономного контура регуляции. Поэтому увеличение общей мощности спектра у самцов с симпатотоническим и гиперсимпатотоническим

типами вегетативной регуляции под влиянием НЧ ИМП, по-видимому, связано с активацией парасимпатического звена и уменьшением влияния на сердечный ритм центрального контура регуляции.

Вместе с тем, известно, что чем выше общая мощность спектра, тем более выражены адаптационные возможности организма [16]. Поэтому можно сделать вывод, что под влиянием НЧ ИМП происходит увеличение адаптационных возможностей организма крыс-самцов с симпатотоническим и гиперсимпатотоническим типами вегетативной регуляции. Полученные нами после воздействия НЧ ИМП изменения интегрального показателя спектрального анализа – ТР согласуются с результатами полученные при анализе интегральных показателей вариационной пульсометрии (SI) и временного анализа (CV). Это может быть обусловлено возрастанием адаптационного потенциала организма животных с исходно нарушенным вегетативным балансом (несбалансированным типом вегетативной регуляции) под действием НЧ ИМП.

### Результаты исследования реакции ВНС самок

Результаты исследования реакции ВНС крыс-самок с различным типом вегетативной регуляции представлены на рис. 5, и

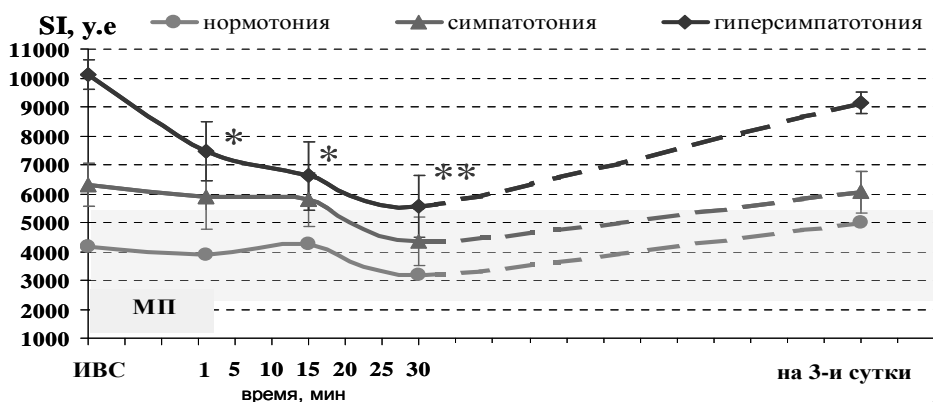


Рис. 5. Динамика стресс-индекса (SI) крыс-самок после воздействия НЧ ИМП: \*,\*\* – статистически значимое отличие от исходного уровня  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,001$ ; МП – граница диапазона нормотонии (от 2429 до 5463 у. е.)

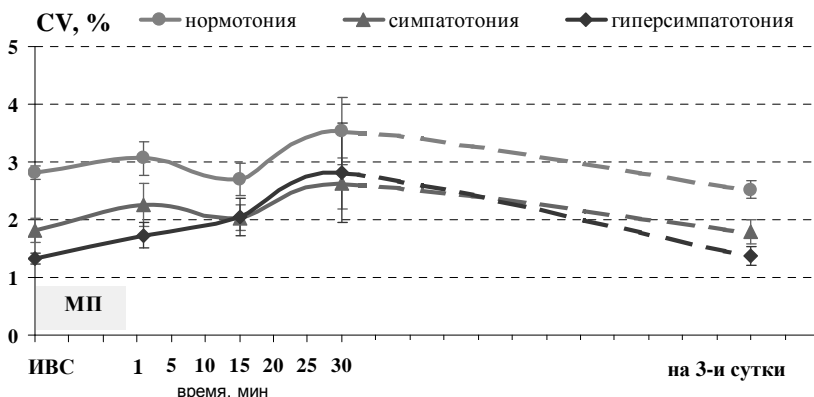


Рис.6. Динамика коэффициента вариации (CV) крыс-самок после воздействия НЧ ИМП

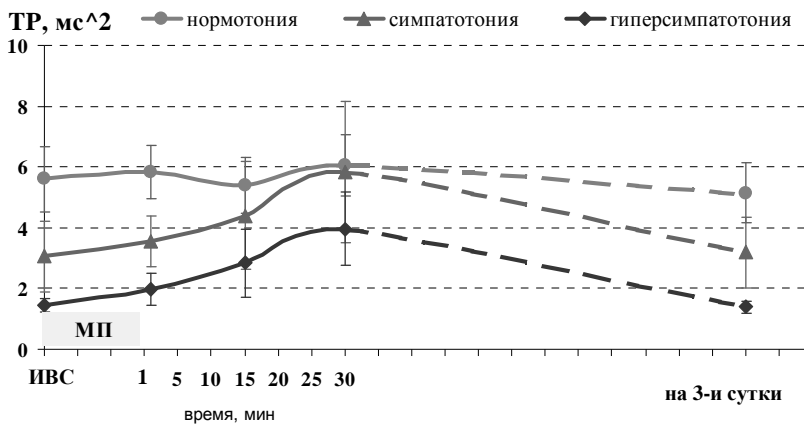


Рис. 7. Динамика общей мощности спектра (ТР) крыс-самок после воздействия НЧ ИМП

Анализ динамики SI крыс-самок с нормотоническим типом вегетативной регуляции после воздействия НЧ ИМП показательных изменений не выявил. У самок с исходно симпатотоническим типом вегетативной регуляции в течение 30 минут после воздействия НЧ ИМП наблюдали постепенное снижение SI. К 30-й минуте отклонение значения SI от ИВС достигло максимума и соответствовало уровню на 31 % ниже ИВС. Спустя 3-е суток после значения SI снова достигло уровня ИВС. У самок-гиперсимпатотоников сразу после окончания воздействия НЧ ИМП зарегистрировали снижение SI на 26 % ( $p \leq 0,05$ ). В течение последующих 30 минут происходило дальнейшее снижение данного показателя, достигшее в итоге уровня почти в двое ниже ИВС ( $p \leq 0,01$ ). Однако, спустя 3 суток значения SI вернулось к уровню ИВС. Таким образом, воздействие НЧ ИМП вызывало у самок с симпатотоническим и гиперсимпатотоническим типом вегетативной регуляции снижение активности симпатического отдела вегетативной нервной системы, регистрируемое в течение 30 минут, но, в отличие от самцов, не сохранявшееся спустя 3 суток.

У самок с нормотоническим типом вегетативной регуляции после воздействия НЧ ИМП изменение значения показателя CV (временной анализ) не было выявлено. У самок-симпатотоников в течение 30 минут после окончания воздействия НЧ ИМП наблюдали тенденцию к возрастанию CV, уровень отклонения от ИВС находился в диапазоне 24–44 %. Спустя трое суток значение CV вернулось к уровню ИВС. У самок-гиперсимпатотоников в течение 30 минут после воздействия НЧ ИМП наблюдали последовательное возрастание CV, достигшее к 30-й минуте уровня в 2 раза превышающем ИВС. Спустя 3 суток значение показателя находилось на уровне исходного.

Результаты спектрального анализа подтвердили наличие кратковременных изменений variability сердечного ритма у крыс-самок, вызванных воздействием НЧ ИМП. У животных с симпатотоническим и гиперсимпатотоническим типами вегетативной регуляции в течение 30 минут после воздействия наблюдали последовательное возрастание TP, не наблюдавшиеся спустя трое суток. По-видимому,

данные изменения вызваны активацией парасимпатического звена регуляции и уменьшением влияния центрального контура регуляции на сердечный ритм.

### Выводы

1. Воздействие НЧ ИМП не нарушает вагосимпатический баланс крыс, как самцов, так и самок, с нормотоническим типом вегетативной регуляции.
2. Воздействие НЧ ИМП обладает нормализующим действием на работу вегетативной нервной системы крыс обоих полов с симпатотоническим и гиперсимпатотоническим типами вегетативной регуляции. У животных формируется состояние нормотонии.
3. Нормализующий эффект НЧ ИМП у самцов сохранялся в течение, по крайней мере, трех суток после воздействия. У самок состояние нормотонии сохранялось в течение 30 минут после воздействия.
4. Самцы отличаются более устойчивой реакцией вегетативной нервной системы на воздействие НЧ ИМП в нормализующем режиме, чем самки.

### Литература

1. Чуян Е. Н. Изменение показателей variability сердечного ритма под влиянием низкоинтенсивного миллиметрового излучения / Е. Н. Чуян, И. Р. Никифоров, М. Ю. Раваев и др. // Физиология животного. – 2009. Т. 17, № 2. С. 206–213.
2. Presman A. S. Electromagnetic fields and life. N.Y. Plenum press, 1968. 332 p.
3. Леднев В. В. Регуляция variability сердечного ритма человека с помощью крайне слабых переменных магнитных полей / В. В. Леднев, Н. А. Белова, Е. Б. Ермаков и др. // Биофизика сложных систем. – 2008. Т. 53, Вып. 6. С. 1129–1137.
4. Ошевенский Л. В. Влияние магнитного поля, модулированного кардиоритмом, на сердечный ритм крыс / Л. В. Ошевенский, В. Н. Крылов, Е. В. Стручкова // Человек и электромагнитные поля. Сборник материалов международной конференции. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2010. С. 49–58.

5. Краюхина К. Ю., Лобкаева Е. П., Девяткова Н. С. Влияние низкоинтенсивного импульсного магнитного поля на состояние вегетативной нервной системы животных // *Биофизика*. 2010, Вып. 4. С. 720–726.

6. Мишагина М. Н. Влияние сложномодулированного магнитного поля на вегетативную нервную систему крыс при гипотермии / М. Н. Мишагина, Е. П. Лобкаева // *Молодежь в науке. Сборник докладов девятой научно-технической конференции*. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2011. С. 280–283.

7. Баевский Р. М. Современное состояние исследований по варибельности сердечного ритма в России / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Г. В. Рябыкина // *Вестник аритмология*. 1999. № 14. С. 71–75.

8. Псеунок А. А. Варибельность сердечного ритма / А. А. Псеунок // *Вестник Адыгейского государственного университета*. 2006. № 2. С. 222.

9. Надареишвили К. Ш. Исходная варибельность сердечного ритма и радиочувствительность кроликов / К. Ш. Надареишвили, И. И. Месхишвили, Д. К. Надареишвили и др. // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2005. Т. 45 № 2. С. 133–144.

10. Федотов В. Д. Влияние низкочастотной импульсной магнитотерапии с индивидуальными параметрами воздействия на варибельность сердечного ритма у пациентов с эссенциальной артериальной гипертензией / В. Д. Федотов // *Кардиология*. – 2012. № 1 (20). С. 186–188.

11. Абрамова Н. В. Модификация функционального состояния вегетативной нервной системы крыс низкоинтенсивным электромагнитным полем / Н. В. Абрамова, Л. В. Ошевенский, В. Н. Крылов // *Человек и электромагнитные поля, Сборник материалов международной конференции*. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2005. С. 112–121.

12. Лапч С. Н. Статистические методы в медикобиологических исследованиях с использованием Excel / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич. // Киев. 2001. С. 319.

13. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. – М.: Медиа Сфера. 2002. С. 312.

14. Чуян Е. Н. Изменение показателей варибельности сердечного ритма под влиянием низкоинтенсивного миллиметрового излучения / Е. Н. Чуян, И. Р. Никифоров, М. Ю. Раваева и др. // *Физика живого*. Т. 17, № 2. 2009. С. 206–213.

15. Баевский Б. М. Анализ варибельности сердечного ритма: история и философия, теория и практика // Р. М. Баевский // *Клиническая информатика и телемедицина*. 2004. Т. 1. С. 54–64.

16. Хаспекова Н. Б. Оценка симпатических и парасимпатических механизмов регуляции при вегетативных пароксизмах / Н. Б. Хаспекова, Х. К. Алиева, Г. М. Дюкова // *Советская медицина*. 1989. № 9. С. 25–28.