

НИЗКОЧАСТОТНОЕ ИМПУЛЬСНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАК СРЕДСТВО НОРМАЛИЗАЦИИ РАБОТЫ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

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

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров

В последние годы большое внимание уделяется разработке и внедрению в биологию и медицину технологий реабилитации последствий негативных воздействий бытовых и производственных факторов. В связи с этим перспективным направлением является разработка современных технологий, основанных на эффектах низкоинтенсивного электромагнитного поля (ЭМП) различных частотных диапазонов [1], в том числе в силу своей безопасности.

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]. Оценка работы последней является информативным средством мониторинга при интегральной оценке функционального состояния организма. Одним из наиболее показательных методов исследования состояния вегетативной нервной системы (ВНС) является оценка вариабельности сердечного ритма (ВСР), представляющая собой важное звено на пути выявления биологических эффектов и понимания механизмов действия слабых МП [7, 8].

Наблюдаемая в условиях свободного бодрствования у человека и животных гетерогенность напряжённости механизмов регуляции сердечного ритма заставляет уделять пристальное внимание зависимости отклика организма на экзогенное воздействие факторов электромагнитной природы 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 (таблица 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 ВСП животных. В анализе использовали интегральные показатели ВСП, 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, мс²) 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 (1).

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

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

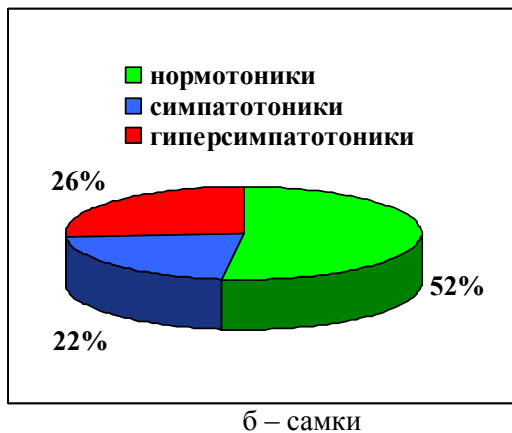
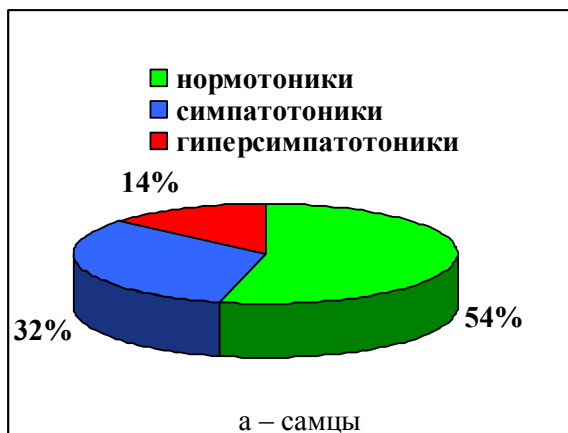


Рис. 1. Процентное распределение животных обоих полов по исходному типу вегетативной регуляции

значения TP и CV – на 50 % и 45 % выше, чем у симпатотоников).

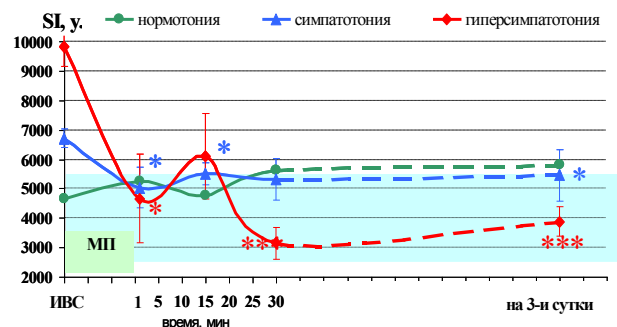
Таблица 2

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

Тип вегетативной регуляции	SI, у.е.	TP, мс ²	CV, %
Самцы (n = 28)			
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
Самки (n = 27)			
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 рисунках 2, 3 и 4.

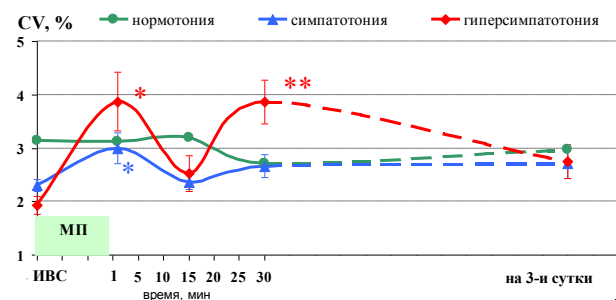


* ,*** – статистически значимое отличие от исходного уровня $p \leq 0,05$, $p \leq 0,001$
 – граница диапазона нормотонии (от 2429 до 5463 у.е.)

Рис. 2. Динамика стресс-индекса (SI) крыс-самцов после воздействия НЧ ИМП

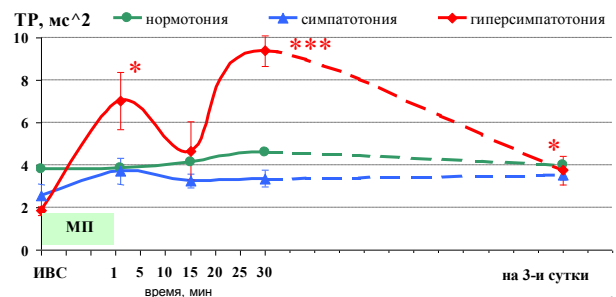
Анализ динамики SI самцов с нормотоническим типом вегетативной регуляции, подвергавшихся воздействию НЧ ИМП, показательных изменений относительно ИВС не выявил. У животных-симпатотоников непосредственно после воздействия НЧ ИМП наблюдали снижение значения SI на 25 % относительно ИВС ($p \leq 0,05$). Дальнейшее наблюдение показало устойчивость

выявленных отклонений, в течение 30 минут после окончания воздействия значения стресс-индекса оставались на уровне 18–21 % ниже 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 чём свидетельствовало нахождение значения SI на уровне в 2,5 раза ниже исходного ($p \leq 0,001$).



* ,*** – статистически значимое отличие от исходного уровня $p \leq 0,05$, $p \leq 0,001$

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

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 симпатотоников и гиперсимпатотоников свидетельствует о снижении активности симпатического отдела ВНС и значительном снижении уровня напряженности регуляторных систем. Следует подчеркнуть, что воздействие НЧ ИМП привело к формированию у животных устойчивого состояния нормотонии.

Результаты временного анализа также свидетельствовали об изменении в состоянии ВНС крыс. Причём, 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 суммарный вариабельность 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 значению 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.

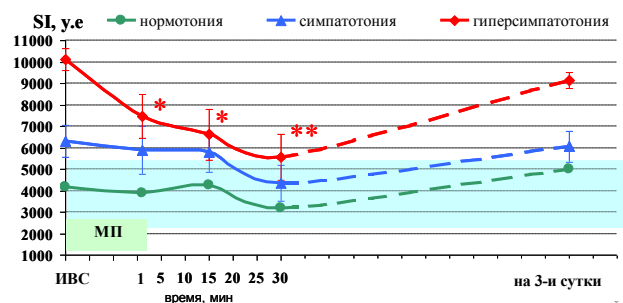
Известно, что общая мощность спектра отражает активность высших вегетативных центров гипоталамо-гипофизарного уровня [15]. При этом, увеличение ТР приводит к активации нижележащих уровней управления, что в свою очередь говорит об усилении активности автономного контура регуляции. Поэтому увеличение общей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

ния 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 рисунках 5, 6 и 7.



* , ** – 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. 5. Динамика стресс-индекса (SI) крыс-самок после воздействия НЧ ИМП

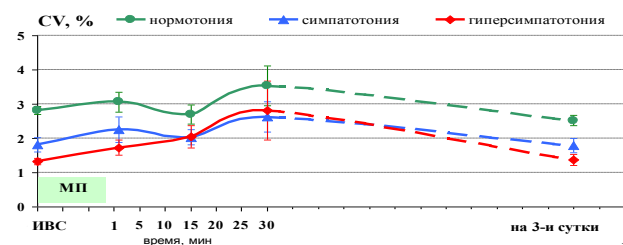


Рис. 6. Динамика коэффициента вариации (CV) крыс-самок после воздействия НЧ ИМП

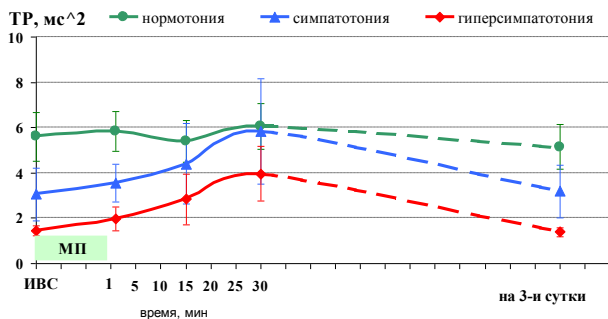


Рис. 7. Динамика общей мощности спектра (TR) крыс-самок после воздействия НЧ ИМП

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 значение 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 типов 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 вариабельности 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 TR, не наблюдавшееся 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 симпато- и гиперсимпатотоническим типами вегетативной регуляции. У животных формируется состояние нормотонии.
3. Нормализующий эффект НЧ ИМП у самцов сохранялся в течение, по крайней мере, трёх 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.

Список литературы

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

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

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

9. Надареишвили К. Ш. Исходная variability 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 variability 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. – 319 с.

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

14. Чуян Е. Н. Изменение показателей variability 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 variability 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.