

УДК 616.12.-008.318:613.614.2

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ММ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И ФРАКТАЛЬНОЙ НЕЙРОДИНАМИКИ

***Чуян Е.Н., Никифоров И.Р., Раваева М.Ю., Бирюкова Е.А., Чуян Е.В.,
Богданова О.Д.***

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина,
e-mail: Elena-chuyan@rambler.ru*

Изучены изменения показателей variability сердечного ритма (ВСР) и фрактальной нейродинамики (ФНД) у студентов волонтеров при 10-ти кратном воздействии низкоинтенсивного электромагнитного излучения (ЭМИ) крайне высокой частоты (КВЧ). Показано, что курсовое воздействие нормализует регуляцию сердечного ритма (СР), прежде всего, со стороны вегетативной нервной системы, что указывает на уменьшение степени централизации управления СР. Достоверные изменения изучаемых параметров наблюдались только после 4-х кратного КВЧ-воздействия, а максимальные эффекты проведения курса КВЧ-терапии – к 9 – 10-м суткам. Также зарегистрирован выраженный эффект последствия, о чем свидетельствует достоверное изменение показателей ВСР и ФНД на протяжении последующих 7-ми дней после окончания курса КВЧ-терапии.

Ключевые слова: вегетативная нервная система, variability ритма сердца, фрактальная нейродинамика, электромагнитное излучение крайне высокой частоты.

ВВЕДЕНИЕ

Новым перспективным научным направлением является изучение и широкое применение в биологии и медицине современных экологически чистых и экономичных технологий с использованием физических факторов, в том числе электромагнитных излучений (ЭМИ) разных диапазонов. Исследованиями последних десятилетий установлено, что в электромагнитобиологии наибольший научный и практический интерес представляют эффекты слабых, низкоинтенсивных или информационных воздействий, которые, не вызывая нагрева тканей и структурных изменений в организме, сопровождаются выраженными биологическими ответами при минимальной затрате энергии. Изучение механизмов действия информационных ЭМИ, или микродоз, на биологические объекты является одной из фундаментальных проблем современного естествознания. В последние годы эта проблема обсуждается учеными различных специальностей, ей посвящены крупнейшие международные симпозиумы и конференции, проводимые Bioelectromagnetic Society и European Bioelectromagnetic Association.

В настоящее время широко применяются в различных медицинских учреждениях Украины и России низкоинтенсивные ЭМИ крайне высокочастотного (КВЧ) или миллиметрового (ММ) диапазона. При этом сформировались различные направления и названия этого терапевтического метода: КВЧ-терапия (ММ-терапия), микрорезонансная терапия (МРТ), информационно-волновая терапия (ИВТ). В связи с высокой биологической эффективностью ЭМИ КВЧ используется в медицинской практике для лечения широкого круга заболеваний [1-5]. Ещё в 1980 году появилось первое сообщение о применении электромагнитных волн ММ-диапазона для лечения сердечно-сосудистых заболеваний. За прошедшие годы накоплен огромный опыт использования ММ излучения для лечения стабильной и нестабильной стенокардии, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, инфаркта миокарда [6-12]. Однако при этом, как правило, отсутствуют критерии оценки адекватности и эффективности проводимой терапии с точки зрения функционального состояния всей сердечно-сосудистой системы (ССС), взаимодействия ее отделов между собой, определяемого качеством и согласованностью функционирования механизмов их вегетативной регуляции. Следовательно, в области ММ электромагнитобиологии мы сталкиваемся с типичной научной ситуацией, когда применение на практике новых идей опережает понимание механизмов действия физического фактора, лежащего в основе этих идей. Вместе с тем известно, что ССС является наиболее чувствительным индикатором адаптационных реакций организма человека на воздействия факторов разной природы и интенсивности, в том числе и низкоинтенсивных ЭМИ [13]. На сегодняшний день одним из перспективных методов исследования состояния ССС и других регуляторных систем организма является математический анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР). В настоящее время определение ВСР признано наиболее информативным неинвазивным методом количественной оценки вегетативной регуляции сердечного ритма (СР). Данный метод основан на рассмотрении СР как случайного процесса, представленного временным рядом кардиоинтервалов, к которому применимы различные методы статистической обработки. Причем, временной ряд СР содержит информацию не только о функционировании ССС, но и о деятельности регуляторных систем более высокого порядка, управляющих многочисленными функциями целостного организма. Таким образом, используя СР как интегральный показатель процессов регуляции, становится возможным получить оценку состояния адаптации организма в целом, функционирования вегетативной нервной системы (ВНС) в соматическом и психосоматическом аспектах [14]. Одним из новых видов диагностики функционального состояния организма, в основе которого лежит анализ ВСР, является фрактальный анализ биоритмов – «фрактальная нейродинамика» (ФНД). Главная идея данного метода заключена в том, что любые вегетативные функции содержат в себе всю полноту информации о протекании данных процессов на всех уровнях управления ими, и что самое важное – в них будут отражаться функции всего организма в целом [15].

Вследствие этого, целью данной работы явилось выявление изменений ВСР и ФНД под действием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 95 условно здоровых студентов-волонтеров женского пола в возрасте 18-20 лет. Все испытуемые дали добровольное согласие на участие в исследовании.

Предварительная запись ВСП выявила индивидуально-типологические отличия этих испытуемых, связанные, в частности, со значениями стресс-индекса (Si, или индекс напряженности ИН): у 27% значение Si не превышало 50 усл.ед, у 56% находилось в пределах 50-200 усл.ед., а у 17% – превышало 200 усл.ед.

В эксперимент были отобраны волонтеры только со значениями Si от 50 до 200 усл. ед. Такой отбор связан с тем, что, во-первых, позволил сформировать однородную группу испытуемых, а, во-вторых, поскольку испытуемые с таким Si преобладают среди обследованных студентов, поэтому можно предположить, что у них развивается наиболее типичная реакция на КВЧ-воздействие.

После предварительного отбора испытуемые (n = 18 чел) были разделены на две группы: контрольную (К) – 7 человек и экспериментальную (ЭМИ КВЧ) – 11 человек. Испытуемые экспериментальной группы подвергались действию низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ, а испытуемые контрольной группы – ложному действию данного фактора (плацебо).

Воздействие ЭМИ КВЧ осуществлялось с помощью 7-миканального генератора «Рамед. Эксперт-04» (производство научно-исследовательской лаборатории «Рамед», г. Днепропетровск; регистрационное свидетельство МЗ № 783/99 от 14.07.99, выданное КНМТ МОЗ Украины о праве на применение в медицинской практике в Украине). Технические характеристики генератора: рабочая длина волны 7,1 мм, частота излучения 42,4 ГГц, плотность потока мощности облучения 0,1 мВт/см². Воздействие осуществлялось на протяжении 10-ти дней, в одни и те же утренние часы (с 9.00 до 11.00), экспозиция – 30 минут, локализация – область биологически активных точек: GI15; симметричных GI4, E-36, RP-6. Выбор этих точек обусловлен их гармонизирующим, стимулирующим и общеукрепляющим действием на организм.

В качестве методов оценки влияния ЭМИ КВЧ на организм были использованы математический анализ ВСП (в системе оценок, рекомендуемых стандартами Европейского Кардиологического Общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии [14]) и ФНД [15]

Исследование показателей функционального состояния проводилось ежедневно в течение 10-ти дней и через 7 дней после окончания курса КВЧ-терапии (17 день эксперимента) для регистрации эффекта последствия.

Для реализации математического анализа СР и ФНД использовался программно-аппаратный комплекс (АПК) «Омега-М» (производство научно-исследовательской лаборатории «Динамика», г. Санкт-Петербург). АПК «Омега-М» разработан на основе принципиально нового метода дискретного динамического анализа совокупности ритмов сердца и мозга. Ритмограммы, выделяемые в процессе обработки из электросигнала, представляют собой последовательности временных интервалов между соседними сердечными возбуждениями. Для аппаратно-программной реализации метода из электрокардосигнала выделяют

пять ритмов: $R-R$ интервалограмма (последовательность $R-R$ интервалов); $R-T$ интервалограмма (последовательность $R-T$ интервалов); отношения амплитуды R и T зубцов (последовательность отношения амплитуды R и T); скважность электросигнала (последовательность значений отношения периода следования кардиокомплекса к его длительности). Из каждого ритма выделяют волны 1-го порядка, представляющие собой огибающие этих ритмов. Таким образом, осуществляется корректный переход от ритмограмм к временным функциям.

Известно, что колебания временного ряда кардиоинтервалов обладают самоподобными свойством, то есть отмечается повторяемость свойств в различных временных масштабах [16]. Поскольку ССС человека самоорганизована таким способом, что не имеет характерной шкалы длительности или времени, разумно было бы ожидать нарушения ее структуры из-за какого-либо отклонения в функциональном состоянии. Поэтому, применение фрактального анализа биоритмов позволяет получить более полную информацию о состоянии биологических объектов и существенно дополнить существующие классические методы анализа СР.

Нейродинамический метод обработки ритмограмм представляет собой способ преобразования сигналов $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$, $f_4(t)$ и $f_5(t)$ в кодовую комбинацию по двоичному основанию, состоящую из последовательности импульсов, все параметры которых одинаковы.

Исследование начинали сразу после проведения сеанса КВЧ-терапии в одно и то же время суток, что позволило исключить влияние суточных колебаний ВСР на результаты исследования с регистрации ЭКГ сигнала в первом стандартном отведении с помощью АПК «Омега-М». Регистрацию проводили в положении сидя при спокойном дыхании в течение 5-ти минут, то есть времени, необходимого для набора 300 кардиокомплексов. Для реализации поставленной цели были использованы основные методы анализа ВСР: статистический (RMSSD, СКО, рNN50), геометрический (Dx, AMo, Mo), спектральный (HF, LF, VLF) и ФНД (показатели: автономной (A), вегетативной регуляции (B), центральной регуляции (C), психоэмоционального состояния (D) и интегральный показатель (HEALTH)), которые подробно описаны в наших предыдущих исследованиях [17].

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета программ «Омега-М» и «Статистика 6.0». Достоверность различий полученных данных определяли с помощью критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследования, в контрольной группе испытуемых достоверных изменений исследуемых показателей в сравнении с исходными значениями за 17 дней наблюдения не зарегистрировано.

Вместе с тем, у испытуемых экспериментальной группы в течение десятидневного курса воздействия ЭМИ КВЧ статистическими методами анализа ВСР выявлено достоверное ($p < 0,05$) увеличение показателей RMSSD ($p < 0,001$), СКО ($p < 0,05$) и рNN50 ($p < 0,001$), начиная с 4-х суток наблюдения (рис. 1).

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ММ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ

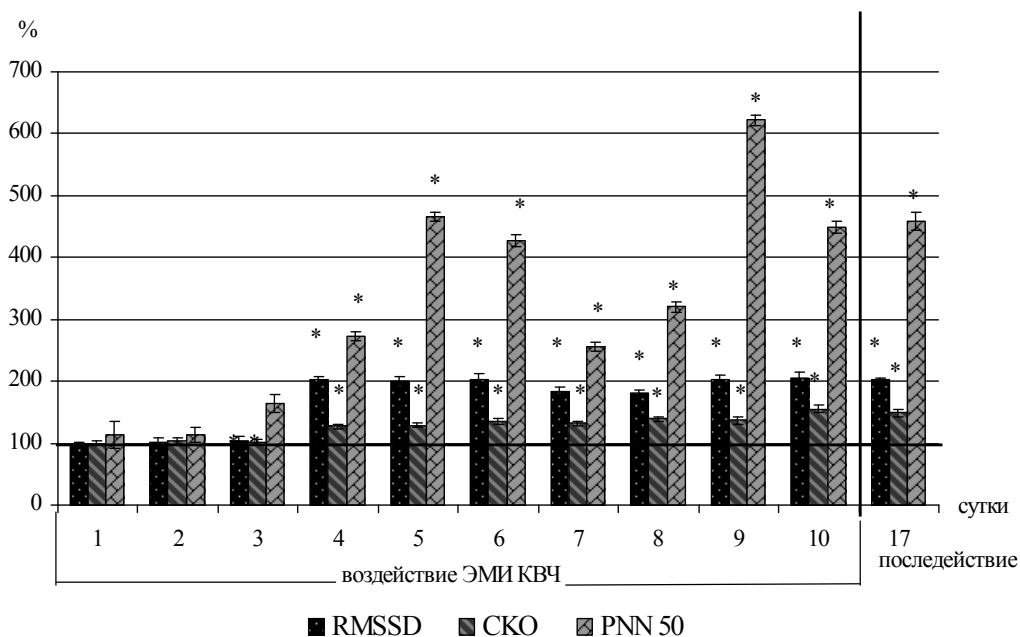


Рис. 1. Изменение показателей статистического анализа ВСР под влиянием ЭМИ КВЧ у испытуемых в разные сроки эксперимента (в % относительно значений в контрольной группе, принятых за 100%).

Примечание: * – достоверность различий по критерию Стьюдента при $p < 0.05$ относительно значений показателей у испытуемых контрольной группы.

Так, на 4-е сутки у испытуемых экспериментальной группы значения показателей RMSSD, CKO и pNN50 значительно увеличились (на 101%, 26% и 172% $p < 0,05$ соответственно) относительно значений этих показателей в контрольной группе. С 4-х по 10-е сутки КВЧ-терапии значения показателей RMSSD и CKO существенно не изменялись, то есть вышли на «плато».

Известно, что CKO является суммарным показателем вариабельности величин интервалов RR за весь рассматриваемый период, характеризующий ВСР в целом [18], а рост CKO указывает на усиление автономной регуляции. Значения показателя RMSSD вычисляются по динамическому ряду разностей значений последовательных пар кардиоинтервалов и не содержат медленноволновых составляющих СР [14, 18, 19]. Увеличение разности между кардиоинтервалами приводит к повышению значения RMSSD, что указывает на увеличение активности парасимпатической системы.

Наряду со стабилизацией значений показателей CKO и RMSSD, было зарегистрировано значительное повышение pNN50, особенно выраженное на 9-е сутки (на 521% $p < 0,001$) относительно значения в контрольной группе. Показатель pNN50 дает информацию, аналогичную RMSSD, но поскольку при его вычислении учитываются лишь разностные значения, величина которых выше, чем 50 мс, то этот показатель более чувствителен к высокочастотным, дыхательным колебаниям

сердечного ритма и, следовательно, лучше отражает активность автономного контура регуляции и тонус ВНС.

Таким образом, увеличение значений показателей СКО, рNN50 и RMSSD свидетельствует о том, что под влиянием курсового КВЧ-воздействия произошло усиление автономного контура регуляции и активация парасимпатического звена регуляции, а, следовательно, оптимизация регуляции физиологических функций.

Полученные данные подтверждаются и данными геометрического анализа ВСР, которые свидетельствуют о том, что уже после 4-кратного воздействия ЭМИ КВЧ произошло достоверное изменение исследуемых показателей (рис. 2). Так, на четвертые сутки наблюдения зарегистрировано достоверное увеличение значений Dx и Mo, превышающие значения этих показателей в контрольной группе на 37% ($p < 0,001$) и 10% ($p < 0,05$) соответственно. Максимальное же увеличение значений этих показателей (на 52%; $p < 0,001$ и 21%; $p < 0,05$ соответственно) относительно значений в контрольной группе было зарегистрировано после десятикратного КВЧ-воздействия, что свидетельствует об активизации парасимпатического компонента ВНС.

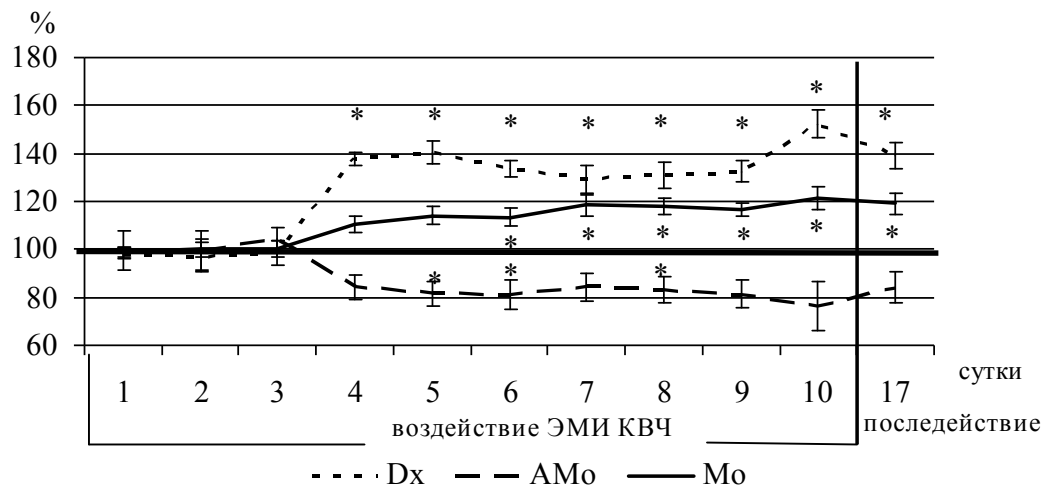


Рис. 2. Изменение показателей геометрического анализа ВСР под влиянием ЭМИ КВЧ у испытуемых в разные сроки эксперимента (в % относительно значений в контрольной группе, принятых за 100%)

Примечание: обозначения те же, что и на рис. 1.

Вместе с тем, начиная с четвертых суток эксперимента, было зарегистрировано резкое снижение значений АМо на 16% ($p < 0,05$) относительно значений этого показателя в контрольной группе испытуемых. Максимальное уменьшение значений АМо в экспериментальной группе произошло на десятые сутки КВЧ-воздействия (на 26%; $p < 0,05$) относительно значений этого показателей в контрольной группе, что свидетельствует об уменьшении влияния симпатического отдела ВНС на СР и о преобладании автономного контура регуляции ССС.

Таким образом, применение геометрических методов анализа ВСР показало, что под влиянием ММ-терапии произошло увеличение значений показателей Мо и Dх на фоне снижения АМо, что свидетельствует об активации парасимпатического звена ВНС, преобладании автономного контура регуляции и ослаблении централизации управления СР.

Данные геометрического анализа количественно могут быть выражены в показателях вариационной пульсометрии, наиболее распространенным и информативным методом которой является анализ стресс-индекса Si регуляторных систем организма. Под влиянием КВЧ-воздействия на 4-е сутки эксперимента произошло резкое снижение Si на 51% ($p < 0,001$) относительно значений этого показателя в контрольной группе (рис. 3). При этом значение Si составляло 47 усл. ед.

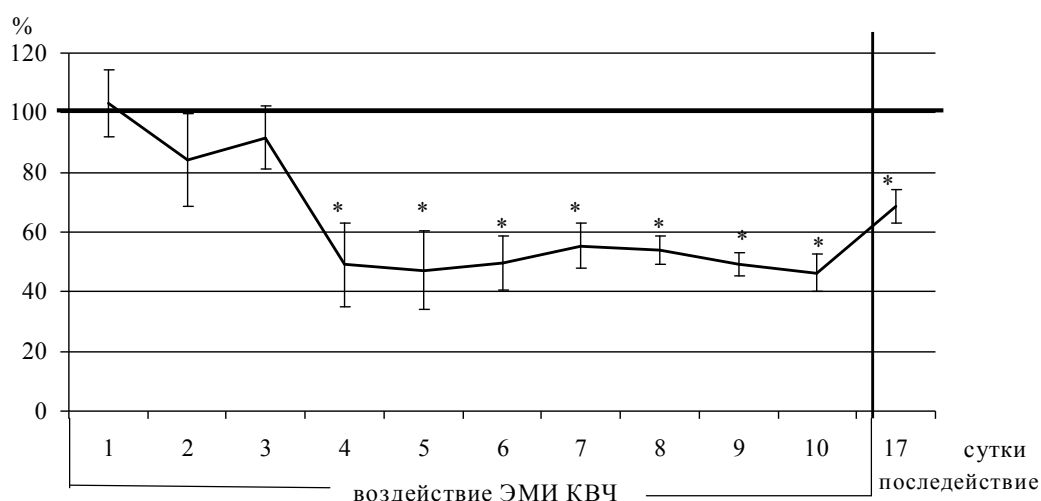


Рис. 3. Изменение стресс-индекса под влиянием ЭМИ КВЧ у испытуемых в разные сроки эксперимента (в % относительно значений в контрольной группе, принятых за 100%).

Примечание: * – $p < 0,001$ достоверность по критерию Стьюдента относительно значений показателей у испытуемых контрольной группы.

Необходимо отметить, что после следующих сеансов КВЧ-терапии значение данного показателя находилось в пределах 48-55% относительно значений в контроле ($p < 0,001$), что свидетельствует о выходе значений этого показателя на «плато».

Как известно [20], Si характеризует степень преобладания симпатических влияний над парасимпатическими и уровень напряженности регуляторных систем [21], поэтому снижение значений этого показателя при КВЧ-воздействии еще раз свидетельствует об увеличении вагусных влияний на СР и значительном снижении уровня напряженности регуляторных систем СР.

Существенное снижение Si у испытуемых уже после 4-кратного КВЧ-воздействия открывают возможности практического использования ММ излучения

для снижения уровня стресса, вызванного психоэмоциональными или физическими нагрузками. Заметим, что S_i увеличивается в 1,5 – 2,0 раза при физической нагрузке, в 1,1 – 3,9 раза при эмоциональном предэкзаменационном стрессе у студентов и школьников, в 1,4 – 1,7 раза у космонавтов во время магнитной бури, в 20 – 30 раз у спортсменов, участвующих в соревнованиях по спортивным играм и в единоборствах, что свидетельствует о состоянии сильнейшего функционального напряжения, «на грани срыва адаптации» [13].

Проведение спектрального анализа модуляционных характеристик биоэлектрических сигналов, который широко используется как неинвазивный метод изучения вегетативной регуляции сердца, ярко продемонстрировал достоверные изменения исследуемых показателей у испытуемых, начиная с четвертых суток эксперимента (рис. 4). Так, после четырехкратного КВЧ-воздействия мощность спектра в LF диапазоне составила 146% ($p < 0,05$) относительно значений данного показателя в контрольной группе. Максимальное значение LF у испытуемых в экспериментальной группе было зарегистрировано на 10-е сутки и составило 221% ($p < 0,01$) соответственно значению этого показателя в контрольной группе.

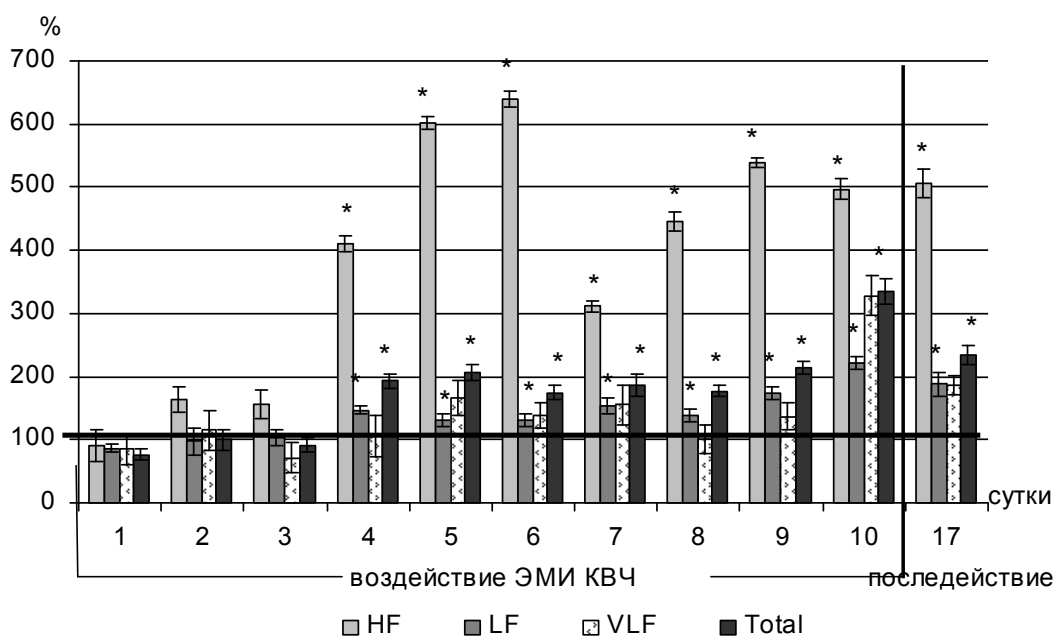


Рис. 4. Изменение показателей спектрального анализа ВСР под влиянием ЭМИ КВЧ у испытуемых в разные сроки эксперимента (в % относительно значений в контрольной группе, принятых за 100%)

Примечание: обозначения те же, что и на рис. 1.

При этом в большей мере происходил рост мощности высокочастотного компонента спектра HF, значение которого на 4-е сутки превысило на 311% ($p < 0,01$) значение этого показателя в контрольной группе. Максимальное же

значение HF было зарегистрировано на 6-е сутки, когда оно составило 639% ($p < 0,001$) относительно значений этого показателя в контрольной группе.

Изменения VLF-компоненты спектра были не достоверны.

Известно, что на частоту и интенсивность колебаний ритма сердца влияют нейрогенный и гуморальный каналы регуляции [14]. Многочисленные экспериментальные данные указывают на то, что спектр ВСР, получаемый при анализе коротких (3-5 минутных) фрагментов ритмограмм, имеет исключительно нейрогенную природу. Поскольку как высокочастотный, так и оба низкочастотных компонента в спектре ВСР исчезают после денервации сердца [22], нет их у пациентов с трансплантированным сердцем [23] у плодов – анэнцефалов [24], то нейрогенная природа этих феноменов сомнений не вызывает. Картина исчезновения как дыхательных, так и обоих низкочастотных составляющих ВСР совпадают со смертью мозга [25]. Следовательно, первопричиной их появления служат колебания активности ВНС.

В настоящее время считается установленным, что HF компоненты спектра (0,15 - 0,4 Гц) связаны с дыхательными движениями и отражают вагусный контроль СР, тогда как LF составляющая, по мнению многих авторов [14], характеризует состояние симпатического отдела ВНС и, в частности, системы регуляции сосудистого тонуса (активность вазомоторного центра). Кроме того, некоторыми авторами показано, что увеличение мощности LF компоненты СР свидетельствует об улучшении барорефлекторной регуляции гемодинамики [14].

Следовательно, полученные нами данные о преобладании высокочастотной компоненты спектра над низкочастотной у испытуемых экспериментальной группы свидетельствует об активации под влиянием ЭМИ КВЧ вагусного контроля СР.

Под влиянием ЭМИ КВЧ отмечалось и достоверное изменение коэффициента симпатовагусного взаимодействия ВСР на протяжении всего исследования. У испытуемых контрольной группы было зарегистрировано превалирование в спектре низкочастотных (LF) компонентов над высокочастотным компонентом HF (значения LF/HF в течение всего срока наблюдения находились в пределах от 3 до 4) (рис. 5), что свидетельствует о преобладании симпатических и надсегментарных влияний на СР и отражает повышенную активность центрального уровня регуляции у испытуемых данной группы. У испытуемых 2-ой группы под влиянием КВЧ-воздействия со вторых по четвертые сутки происходило резкое снижение данного показателя (на 25%; $p < 0,01$), значение которого после четырехкратного КВЧ-воздействия составило 1,15 у.е. ($p < 0,01$).

Последующие изменения были незначительными, и к десятым суткам значение LF/HF составляло 31% ($p < 0,01$) относительно фонового значения.

Данный показатель свидетельствует о балансе симпатического и парасимпатического компонентов ВНС, а его снижение – о понижении тонуса симпатического отдела ВНС [18]. Вместе с тем, под влиянием КВЧ-воздействия соотношение LF/HF компонентов спектра приблизилось к 1 усл.ед., а, следовательно, наблюдалось примерно одинаковое соотношение низко- и высокочастотных ритмов, что указывает на вегетативный баланс организма и наибольшую автономность регуляции СР у испытуемых этой группы.

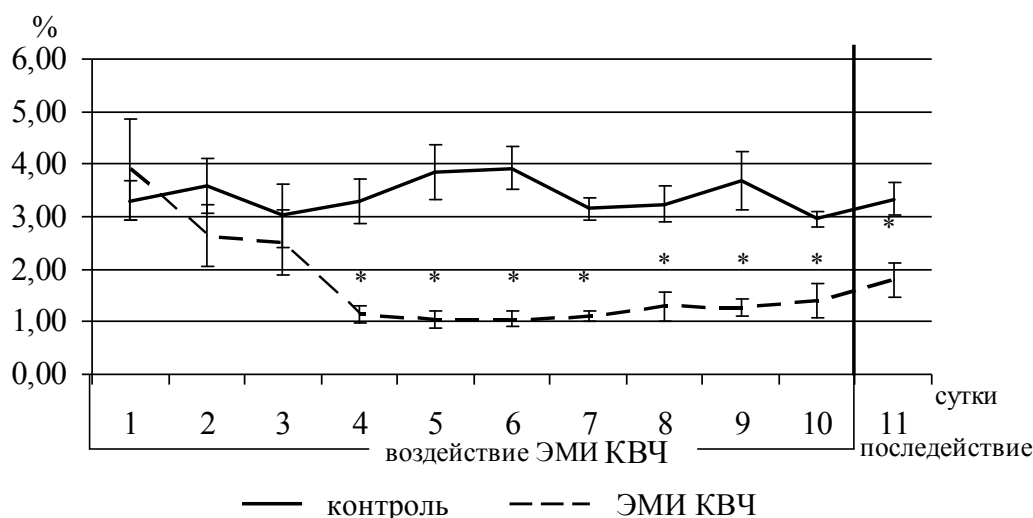


Рис. 5. Изменение коэффициента LF/HF под влиянием ЭМИ КВЧ у испытуемых в разные сроки эксперимента.

Примечание: обозначения те же, что и на рис. 1.

Эти данные подтверждает и тот факт, что на десятые сутки было отмечено изменение процентного соотношения вкладов HF и LF в общую мощность спектра (рис. 6), при этом произошло уменьшение вклада LF (на 12%) и увеличения HF (на 10%) относительно значений этих показателей в контрольной группе, что привело к восстановлению симпато-вагусного баланса ВНС.

Следовательно, под воздействием ЭМИ КВЧ выявлено равномерное перераспределение тонуса между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС, приводящее в конечном итоге к нормализации и стабилизации процессов регуляции. Однако данные о значительном возрастании HF компоненты у испытуемых могут свидетельствовать о более существенной активации под влиянием ЭМИ КВЧ парасимпатических влияний на СР, нежели симпатических. Следовательно, нами получены данные об усилении общей ВСР под воздействием ЭМИ КВЧ у волонтеров экспериментальной группы, что может быть связано не только с ростом парасимпатической активности и оптимизацией барорегуляции, но и с нормализацией всех вегетативных влияний на сердце.

Наряду с изменением мощности отдельных компонентов спектра ВСР, под влиянием КВЧ-воздействия произошло увеличение общей мощности спектра (Total). Так, значения Total на четвертые сутки в экспериментальной группе испытуемых превысили на 92% ($p < 0,05$) значения этого показателя в контрольной группе испытуемых (рис. 4). С четвертых по восьмые сутки значительных изменений значений Total не происходило, что говорит о выходе значений данного показателя на «плато». Максимальное значение Total у испытуемых в экспериментальной группе было зарегистрировано на десятые сутки и составило 334% ($p < 0,05$) от значений этого показателя в контрольной группе.

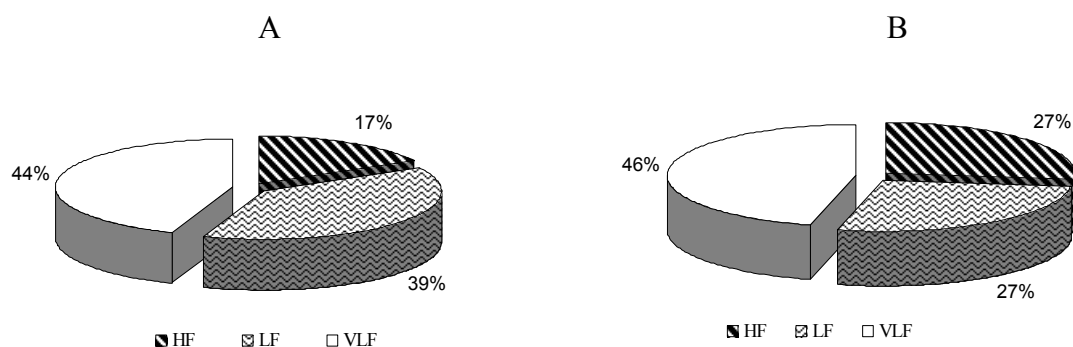


Рис. 6. Соотношение вклада высокочастотных HF и низкочастотных LF компонентов в общую мощность спектра (в %) на десятые сутки эксперимента в контрольной (А) и экспериментальной (В) группе испытуемых.

Общая мощность спектра отражает суммарную активность вегетативных воздействий на сердечный ритм. Из литературных данных [26] известно, что вагусная активация обычно сопровождается увеличением общей мощности спектра, в то время как усиление симпатической активации приводит к обратной картине. Поэтому увеличение общей мощности спектра у испытуемых под влиянием КВЧ-воздействия может быть связано с активацией парасимпатической регуляции и уменьшением влияния центрального контура регуляции на СР.

Вместе с тем, известно, что чем выше общая мощность спектра, тем более выражены адаптационные возможности организма [27]. Поэтому можно сделать вывод, что под влиянием КВЧ-терапии происходит увеличение адаптационных возможностей организма испытуемых. Полученные нами данные согласуются с литературными [28] и могут быть обусловлены возрастанием адаптационного потенциала организма под воздействием ЭМИ КВЧ.

Поскольку в прикладной физиологии и клинической медицине ВСР используется не только для изучения системы вегетативного управления сердцем, но и для оценки функциональных резервов, особенностей регуляции и адаптационных реакций организма, то на следующем этапе анализировали изменение под влиянием ЭМИ КВЧ производных параметров ВСР – интегральных показателей ФНД, которые дают возможность свести в единое целое информацию со всех уровней регуляции организма испытуемых. Применение курсового воздействия ЭМИ КВЧ привело к изменению всех исследуемых показателей ФНД испытуемых (таблица). Наибольшему изменению подверглись показатели А и В, значения которых на десятые сутки увеличились на 24 и 25% ($p < 0,01$) соответственно по отношению к значениям этих показателей в контрольной группе.

Кроме того, под влиянием ЭМИ КВЧ отмечен рост значений показателей С, D и HEALTH в среднем на 16% ($p < 0,01$) по отношению к значениям этих показателей у испытуемых в контрольной группе. Достоверное увеличение интегральных показателей функционального состояния у испытуемых экспериментальной группы было отмечено на четвертые сутки, после чего значения показателей А и В,

выходили на плато, а значения С, D и HEALTH продолжали плавно увеличиваться. Обращает на себя внимания и тот факт, что увеличение значения интегрального показателя функционального состояния происходило за счет большего увеличения вклада вегетативного компонента.

Таблица.
Динамика интегральных характеристик функционального состояния
организма испытуемых исследуемых групп ($\bar{x} \pm S\bar{x}$)

Группы испытуемых	Показатели	Сроки наблюдения (сутки)						
		1	3	5	7	10	17	
Контрольная	A	55,08±5,45	57,77±4,00	58,53±4,93	60,02±3,41	57,86±3,53	54,6±1,98	
	B	63,21±4,27	66,77±6,04	65,56±6,11	65,73±5,28	66,48±3,96	62,96±8,41	
	C	57,01±6,31	56,56±5,86	59,44±5,06	60,25±1,13	60,81±3,94	62,12±3,70	
	D	62,44±3,70	63,83±1,56	62,26±3,65	60,20±4,83	59,68±4,10	58,21±3,64	
	HEALTH	64,82±5,87	65,02±2,57	63,80±4,55	64,10±4,68	61,81±3,59	60,07±5,93	
	ЭМИ КВЧ	A	55,66±3,09	60,10±2,65	79,68±3,76 p<0.01	79,22±4,34 p<0.02	78,03±3,83 p<0.01	80,56±4,91 p<0.001
		B	62,73±4,04	71,30±4,76	91,12±2,65 p<0.001	87,72±3,47 p<0.01	90,13±4,21 p<0.01	87,83±4,75 p<0.02
		C	61,25±2,73	62,66±3,32	71,43±2,40 p<0.05	68,82±2,89	77,97±3,96 p<0.01	75,87±3,43 p<0.05
		D	61,99±3,76	62,89±4,53	72,19±1,80 p<0.02	72,31±3,59	78,87±3,45 p<0.01	76,61±4,51 p<0.02
		HEALTH	65,56±3,86	64,85±3,88	78,60±2,31 p<0.01	76,40±3,52 p<0.05	82,39±3,54 p<0.01	79,17±3,87 p<0.02

Примечание: значения p – уровень достоверности различий относительно контрольной группы по критерию Стьюдента.

Важно подчеркнуть, что ВНС выполняет в организме две основные функции: сохранение и поддержание гомеостаза (поддержание в пределах физиологической нормы артериального давления, частоты сердечных сокращений, температуры тела, биохимических показателей и т.д.), а также отвечает за мобилизацию функциональных систем организма для адаптации к изменениям условий окружающей среды, т.е. функцию приспособления. Поэтому, учитывая, что все процессы в организме человека, так или иначе, связаны с ВНС, функции которой регулируются гипоталамусом – центральным интегратором всех вегетативных процессов в организме, вполне возможно, что в основе механизма корригирующего действия ЭМИ КВЧ на организм лежит оптимизация тонуса ВНС. Полученные данные согласуются с данными других авторов, свидетельствующими об участии ВНС в реакциях на периферическое воздействие ЭМИ КВЧ. Известно, что ЭМИ

КВЧ участвует в регуляции тонуса ВНС и достижении согласованности в работе всех органов и систем у испытуемых с различными вегетативными дисфункциями.

В частности, воздействие ЭМИ КВЧ на БАТ способствует улучшению функционального состояния ВНС у женщин после ампутации матки [29]. Н.В. Поповченко [30] при оценке функциональной активности симпатического отдела ВНС у больных с вегетативными дисфункциями и гастродуоденальной патологией сделал вывод о генерализованной реакции ВНС на микроволновое облучение, возникающей уже после первого сеанса и проявляющейся в возбуждении или торможении нервной системы. Следовательно, нами показано, что курс ЭМИ КВЧ нормализует регуляцию СР, прежде всего, со стороны ВНС, что указывает на уменьшение степени централизации управления сердечным ритмом.

Таким образом, согласно приведенным выше результатам исследования, десятидневное воздействие ЭМИ КВЧ оказывает достоверное влияние на изученные показатели ВСР. Известно [20], что ВСР является интегрированным показателем взаимодействия трех регулирующих СР факторов: рефлекторного симпатического, рефлекторного парасимпатического и гуморально-метаболически-медиаторной среды. Изменение СР является универсальной оперативной реакцией целостного организма в ответ на любое воздействие внешней среды и характеризует баланс между тонусом симпатического и парасимпатического отделов. Поэтому полученные нами данные о достоверном изменении показателей ВСР и ФНД свидетельствуют о нормализации посредством ЭМИ КВЧ симпато-вагусного баланса организма испытуемых. Курсовое воздействие ЭМИ КВЧ весьма интенсивно влияло как на активность парасимпатического (RMSSD, pNN50, Dx) и симпатического (AMo) отделов ВНС, так и на суммарный эффект вегетативной регуляции (СКО) и уровень функционирования систем регуляции в данный период времени (Mo). Существенные изменения вследствие курсового воздействия ЭМИ КВЧ испытывал и Si, что свидетельствует об адаптационных изменениях в организме испытуемых.

Важно подчеркнуть, что значительному изменению под действием ЭМИ КВЧ подверглись и волновые показатели ВСР, отражающие внутреннюю структуру ряда кардиоинтервалов и позволяющие судить о механизмах, обеспечивающих наблюдаемый конечный эффект регуляторных воздействий. Это влияние затрагивало как показатели суммарной мощности спектра ВСР (Total), так и ее составляющих – HF, LF, т.е. автономный и сегментарный уровни регуляции сердечного ритма, а достоверное изменение интегрального показателя LF/HF отражало достижение баланса между компонентами ВНС в организме. Эти изменения свидетельствуют о том, что курсовое воздействие ЭМИ КВЧ способно избирательно изменять основные механизмы регуляции СР, имеющие адаптационное значение.

Необходимо отметить, что достоверное повышение производных показателей ВСР, полученных с помощью метода ФНД, свидетельствует, что ЭМИ КВЧ обеспечивает регуляцию управляющих функций СР на разных уровнях: автономном, вегетативном, гипоталамо-гипофизарном, центральном, а, следовательно, способствует увеличению адаптивных возможностей всего организма.

Особый интерес представляют результаты анализа динамики изменений показателей ВСР в разные дни курса КВЧ-терапии. Эти различия касались большинства показателей ВСР и ФНД. Достоверные изменения изучаемых параметров наблюдались только после 4-кратного КВЧ-воздействия, а максимальные эффекты проведения курса КВЧ-терапии регистрировались к 9 – 10-м суткам.

Таким образом, на начальных этапах реакция организма на воздействие ЭМИ КВЧ развивается медленно, при многократном воздействии эффект более выражен и сохраняется длительное время. Следовательно, биологический эффект ЭМИ КВЧ имеет кумулятивный характер, который был показан как в наших предыдущих, так и в других исследованиях [17, 13]. Однако значения некоторых показателей (RMSSD, СКО, АМо, Si, Total, А, В), значительно повышаясь после первых 4-х сеансов ММ воздействия, выходили на «плато», тогда как другие (Dx, Мо, рNN50, HF, LF,) претерпевали значительные изменения до конца курса ЭМИ КВЧ. Следовательно, обнаружены существенно изменяющиеся (информативные признаки) и «малочувствительные» показатели, что имеет большое значение для оптимизации КВЧ-терапии.

Особо следует отметить тот факт, что через семь суток после прекращения КВЧ-воздействия, биологические ответы оставались на достоверно высоком по отношению к значениям в контрольной группе уровне (рис. 1 – 6; табл). Таким образом, существенные изменения показателей ВСР и ФНД вследствие курсового электромагнитного КВЧ воздействия сохраняются достаточно длительный период (минимум 7 дней), что согласуется с данными наших предыдущих исследований.

Таким образом, результаты настоящего исследования существенно дополняют сведения о влиянии ЭМИ на ВСР человека, которые являются весьма противоречивыми [13; 31]. Противоречия объясняются, главным образом, использованием ЭМИ с разными биотропными параметрами и отсутствием какого-либо обоснования для применения ЭМИ конкретных типов. В частности, показано, что ЭМИ могут, как увеличивать, так и снижать уровень стресса у человека (в большинстве известных нам публикациях ЭМИ рассматриваются исключительно как фактор стресса). Данное экспериментальное исследование подтверждает антистрессорное действие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ, доказанное в наших предыдущих исследованиях [32] и существенно дополняет данными об изменении интегральных информационных показателей ВСР и ФНД у человека.

Результаты, представленные в данной работе, открывают возможности практического использования ЭМИ ММ диапазона не только для лечения различных патологических изменений человека, но и для модуляции степени напряжения регуляторных систем СР, для снижения уровня стресса, вызванного психоэмоциональными или физическими нагрузками.

ВЫВОДЫ

1. Применение низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ ($7,1 \text{ мм}$; $0,1 \text{ мВт/см}^2$) у испытуемых в оздоровительных целях приводит к достоверному изменению показателей ВСР и ФНД, причем обнаружены существенно изменяющиеся (информативные признаки) и «малочувствительные» показатели, что имеет большое значение для оптимизации КВЧ-терапии.

2. Увеличение значений показателей статистических методов анализа ВСР: СКО (на 55%; $p < 0,05$), r_{NN50} (на 348%; $p < 0,001$) и $RMSSD$ (на 106%; $p < 0,001$) свидетельствует о том, что под влиянием курсового КВЧ-воздействия произошло усиление активности автономного контура и парасимпатического звена регуляции, а, следовательно, оптимизация регуляции физиологических функций.
3. Применение геометрических методов анализа ВСР показало, что под влиянием ММ-терапии произошло увеличение значений показателей Mo (на 21%; $p < 0,05$) и Dx (на 52%; $p < 0,001$) на фоне снижения AMo (на 26%; $p < 0,05$), что свидетельствует об активации парасимпатического звена ВНС, преобладании автономного контура регуляции и ослаблении централизации управления сердечным ритмом.
4. Под влиянием КВЧ-воздействия произошло значительное снижение Si (на 55%; $p < 0,001$), что свидетельствует об увеличении вагусных влияний на ритм сердца и уменьшении напряженности регуляторных систем.
5. Увеличение общей мощности спектра (на 234%; $p < 0,05$) под влиянием КВЧ-воздействия свидетельствует об усилении вегетативного воздействия на сердечный ритм, причем тот факт, что увеличение мощности HF (на 396%; $p < 0,001$) компонента спектра происходит в гораздо большей мере, чем мощности LF (на 121%; $p < 0,05$) компонента свидетельствует не только о более мощной активации парасимпатического отдела ВНС и оптимизации барорегуляции, но и о нормализации всех вегетативных влияний на сердце.
6. Достоверное повышение производных показателей ВСР, полученных с помощью метода фрактальной нейродинамики биоритмов, свидетельствует, что ЭМИ КВЧ обеспечивает регуляцию управляющих функций сердечного ритма на разных уровнях: автономном, вегетативном, гипоталамо-гипофизарном, центральном, а, следовательно, способствует увеличению адаптивных возможностей всего организма.
7. Низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ нормализует регуляцию сердечного ритма, прежде всего, со стороны вегетативной нервной системы, что указывает на уменьшение степени централизации управления сердечным ритмом.
8. Изменение показателей variability сердечного ритма и фрактальной нейродинамики биоритмов испытуемых под влиянием КВЧ-воздействия зависят от длительности лечебного курса: достоверные изменения изучаемых параметров наблюдались только после 4-хкратного КВЧ-воздействия, а максимальные эффекты проведения курса КВЧ-терапии – к 9 – 10-м суткам.
9. Курсовое воздействие ЭМИ КВЧ имеет выраженный эффект последствия, о чем свидетельствует достоверное изменение показателей variability сердечного ритма и фрактальной нейродинамики на протяжении последующих 7-ми дней после окончания курса КВЧ-терапии.

Список литературы

1. Колбун Н.Д. Прикладные аспекты информационно-волновой терапии / Н.Д. Колбун // Теория и практика информационно-волновой терапии. – 1996. – №2. – С. 42–54.

2. Афромеев В.И. Терапия, контроль и коррекция состояния организма человека воздействием высокочастотных электромагнитных полей в замкнутой биотехнической системе / Афромеев В.И., Нагорный М.М., Соколовский И.И. – Миллиметровые волны в биологии и медицине – 1998. – №2 (12). – С. 6–15.
3. Крюков В.И. Норма, адаптация и эффект плацебо при воздействии крайневисокочастотных электромагнитных излучений на организм человека / Крюков В.И., Субботина Т.И., Яшин А.А. – Вестник новых медицинских технологий. – 1998. – Т.5, № 2. – С. 15–17.
4. Ситько С.П. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины / Ситько С.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. – Киев: ФАДА, ЛТД, 1999. – 199 с.
5. Луценко Ю.А. Электромагнитная терапия в стоматологии. / Луценко Ю.А., Соколовский С.И., Яшин С.А., Яшин А.А. – Тула: Изд-во Тульского гос. ун-та, 2002. – 228 с.
6. Гапонюк П.А. Влияние низко- интенсивного ЭМИ миллиметрового диапазона на биоэлектрическую активность периферических и центральных нервных структур и системную гемодинамику больных гипертонической болезнью / Гапонюк П.А., Столбиков А.Е., Шерковина Т.Ю. – Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 1988. – № 3. – С. 14–18.
7. Особенности изменений параметров спектра ЭЭГ в ходе КВЧ-терапии у больных гипертонической болезнью с разными типами гемодинамики / А.В. Берус, А.Е. Столбиков, О.В. Шмаль [и др.] – Сб. докладов Международного симпозиума «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине». – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. – Т. 1. – С. 114–119.
8. Лукьянов В.Ф. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на микроциркуляторное русло при гипертонической болезни / Лукьянов В.Ф., Захаров Е.И., Лукьянова С.В. – Сб. докл. Междунар. симпозиум «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине» – Т.1. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. – С. 124–127.
9. Головачева Т.В. Некоторые патогенетические аспекты применения ЭМИ ММД у больных стенокардией / Головачева Т.В., Киричук В.Ф., Петрова В.Ф. – Сб. научн. работ «Применение низкоинтенсивных лазеров и излучения миллиметрового диапазона в эксперименте и клинике». – Саратов, 1994. – С. 210–213.
10. Паршина С.С. Индивидуальный подход к назначению КВЧ-терапии у больных стенокардией / Паршина С.С., Киричук В.Ф., Головачева Т.В. – Сб. докладов 10-го Российск. симпоз. с междунар. участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: МТА КВЧ, 1995. – С. 31–33.
11. Лебедева А.Ю. Итоги и перспективы применения миллиметровых волн в кардиологии // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2002. – № 1 (25). – С. 21–23.
12. Шайдюк О.Ю. КВЧ-терапия в лечении стенокардии напряжения с эпизодами безболевого ишемии миокарда / О.Ю. Шайдюк, И.Г. Гордеев, А.Ю. Лебедева // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2002. – №1 (25). – С. 24–39.
13. Регуляция вариабельности сердечного ритма человека с помощью крайне слабых переменных магнитных полей / [Леднев В.В., Белова Н.А., Ермаков А.М., Акимов Е.Б., Тоневецкий А.Г.] – Биофизика. – 2008. – Т.53, вып. 6, – С. 1129–1137.
14. Вариабельность сердечного ритма: Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования / Рабочая группа Европейского кардиологич. об-ва и Северо-Американского об-ва стимуляции и электрофизиологии // Вестник Аритмол. – 1999. – №11. – С. 53–78.
15. Обоснование аппаратно-программных методов, предназначенных для скрининг-диагностики внутренних заболеваний и для оценки эффективности лечебно-профилактических мероприятий в системе диспансеризации военнослужащих и пенсионеров МО // Отчет о научно-исследовательской работе. – СПб: ВМА, 2002. – 77 с.
16. Kobayashi M. I/f fluctuation of heartbeat period / M.Kobayashi, T.Musha // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1982. – Vol. 29. – P. 456.
17. Чуян Е.Н. Изменение показателей функционального состояния человека под воздействием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ / Е.Н Чуян, Е.А. Бирюкова, М.Ю. Раваева // Физика живого. – 2008. – Т.16, №1. – С.91–98.
18. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. / Михайлов В.М. – Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. – 290 с.

19. Индивидуальный профиль функционального состояния организма студентов с различным тоном вегетативной регуляции / Е.Н. Чуян, Е.А. Бирюкова, М.Ю. Раваева [и др.] – Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Т.22(61), № 2 – С.152–165.
20. Баевский Р.М. Математический анализ сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кирилов – М.: Наука, 1984. – 220 с.
21. Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева – М.: Медицина, 1997. – 236 с.
22. Akselrod S.D. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control / S.D. Akselrod, D. Gordon, F.A. Ubel – Science. – 1981. – Vol.213, N 4503. – P. 220–222.
23. Spectral analysis of heart rate variability following human of heart transplantation: evidence for functional reinnervation / E.L. Fallen, M.V. Amath, D.N. Chista [et al.] – Nerv. Syst. – 1988. – Vol.23. – P. 199.
24. Neurological control. of fetal heart ratele in 20 cases of anencephalic fetuses / T. Terao, У. Kawashima, Н. Noto [et al.] – Obstet. Gynecol. – 1984. – Vol.149. – P. 201.
25. Heart rate variability in the fetus. In Heart rale variability / М. Hirsich, J. Karin, S. Akserod [et al.] – Futura Publishing Company. Inc., 1995. – P. 517.
26. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. / [Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.М., Шебзухов К.В.] – Рос. ун-та Дружбы народов – М.: Монография, 2002. – 232 с.
27. 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.
28. Опыт применения электромагнитного излучения миллиметрового диапазона при различных нозологических формах / О.Н. Гундерчук, В.В. Гришина, Т.С. Гладкова [и др.] – Вестник нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Серия «Биология». – 2001. – № 1.– С. 66–69
29. Дикке Г.Б. Влияние электромагнитных волн миллиметрового диапазона на состояние вегетативной нервной системы у женщин после ампутации матки / Г.Б. Дикке // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1999.– №1(13). – С.28–33
30. Поповченко Н.В. К вопросу о роли вегетативной нервной системы в реализации лечебных эффектов микроволновой терапии // Фундаментальные прикладные аспекты применения ММ излучения в медицине: I Всесоюз. симпоз. – Киев, 1989.– С. 294.
31. Девятков Н.Д. Особенности медико-биологического применения миллиметровых волн / Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В – М.: Радио и связь, 1991.–168 с.
32. Чуян Е.Н. Механизм антиноцицептивного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения / Е.Н. Чуян, Э.Р. Джелдубаева – Симферополь: «Диайпи», 2006.– 458 с.

Чуян О. М. Вплив електромагнітного випромінювання надто високої частоти на показники варіабельності серцевого ритму і фрактальної нейродінаміки / О.М. Чуян, І.Р. Нікіфоров, М.Ю. Раваєва, О.О.Бірюкова, Е.В. Чуян, О.Д. Богданова // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2009. – Т. 22 (61). – № 4. – С. 268-285.

Вивчені зміни показників варіабельності серцевого ритму (ВСР) і фрактальної нейродінаміки (ФНД) у студентів волонтерів при 10-ті кратної дії низкоінтенсивного електромагнітного випромінювання (ЕМВ) надто високої частоти (НВЧ). Показано, що курсова дія нормалізує регуляцію серцевого ритму, перш за все, з боку вегетативної нервової системи, що указує на зменшення ступеня централізації управління серцевим ритмом. Достовірні зміни параметрів спостерігалися тільки після 4-х кратної НВЧ-дії, а максимальні ефекти проведення курсу НВЧ-терапії – до 9 – 10-ї доби. Також зареєстрований виражений ефект післядії, про що свідчить достовірна зміна показників ВСР і ФНД впродовж подальших 7-ми днів після закінчення курсу НВЧ-терапії.

Ключові слова: вегетативний тонус, варіабельність ритму серця, фрактальна нейродінаміка, стрес-індекс, ЕМВ НВЧ.

Chuyan E.N. Extremely high frequency electromagnetic radiation influence on heart rate variability indices and fractal neurodynamics / E.N. Chuyan, I.R. Nikiforov, M.Y. Ravaeva, E.A. Biryukova, E.V. Chuyan, O.D. Bogdanova // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2009. – V.22 (61). – № 4. – P. 268-285.

We study the changes in heart rate variability (HRV) and fractal neurodynamics (FND), students volunteer with the 10-times effects low intensive of electromagnetic radiation (EMR), extremely high frequency (EHF). Shown that the course impact normalize the regulation of cardiac rhythm, especially on the part of the autonomic nervous system, indicating a decrease in the degree of centralization of cardiac rhythm control. Reliable changes in the studied parameters were observed only after 4-th EHF-session and maximum effect of the rate EHF-therapy - to 9 – 10-th days. Also aftereffect was recorded, as evidenced by reliable change indices of HRV and FND for the next 7 days after the course EHF-therapy.

Keywords: vegetative tone, heart rate variability, fractal neurodynamics, stress index, EMR EHF.

Поступила в редакцию 16.11.2009 г.