

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА СИСТЕМУ КРОВИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

*Т.В. Шилкова, Д.З. Шибкова, Н.В. Ефимова, Н.Д. Полевик**
ЧГПУ, *ЧГАУ, г. Челябинск

В опытах на мышах линии СВА исследовано влияние электромагнитного поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) низкой интенсивности на систему крови мышей в период физиологически протекающей беременности (несущая частота ЭМП РЧ – 925 ± 3 МГц, уровень плотности потока мощности (ППМ) $1,2$ мВт/см², длительность экспозиции – 10 мин, ежедневно в течение 5 дней). Установлено, что при воздействии исследуемого фактора происходят достоверные изменения во всех отделах системы крови: в красном костном мозге, селезенке, тимусе, периферической крови.

Ключевые слова: адаптация, электромагнитное излучение, экспериментальные животные, беременность, система крови.

Интенсивное развитие беспроводных технологий и распространение в быту мобильных средств телекоммуникации сопряжено с тем, что человек постоянно находится под влиянием низкоинтенсивного электромагнитного поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ). По сравнению с другими источниками ЭМП РЧ у сотового телефона существуют свои отличительные особенности: круглосуточное хроническое облучение происходит на максимальном приближении и в неконтролируемых условиях (т. е. частоту и продолжительность воздействия контролирует сам пользователь), воздействию ЭМП РЧ подвергается не только сам пользователь сотового телефона, но и окружающие его люди [1, 5, 6, 8, 15].

Полученные различными авторами данные о негативном влиянии электромагнитного поля на здоровье человека и животных не дают однозначного ответа [4, 9, 17, 21, 22]. Основным способом решения данной научно-практической задачи могут являться опыты на лабораторных животных и использование результатов для экстраполированного прогнозирования негативного влияния ЭМП РЧ на здоровье человека.

Ранее проведенные исследования [3, 7, 13, 14] позволили предположить, что поскольку в период беременности на фоне эндокринного сдвига и влияния плода на обменные процессы в организме матери возможны изменения в системе гемо-, иммунопоэза, картина ответной реакции на воздействие ЭМП РЧ у беременных самок может значительно отличаться от показателей небеременных

лабораторных животных. Известно, что гормоны репродукции оказывают регуляторное влияние на пролиферацию клеток иммунной системы, угнетают фагоцитарную активность нейтрофилов, модулируют секреторную функцию лимфоцитов. Эти изменения в иммунной системе наряду с изменениями в системе крови матери необходимы для имплантации оплодотворенной яйцеклетки и благоприятного течения беременности [14].

Цель исследования – выявить изменения в системе крови у экспериментальных животных под воздействием электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного диапазона в период физиологически протекающей беременности и сравнить с гематологическими показателями небеременных облученных животных.

Материалы и методика. В эксперименте были использованы три группы (1-я группа контроля – «фон», 2-я группа контроля – «беременные, ложное облучение» и 3-я опытная группа – «беременные, воздействие ЭМИ радиочастотного диапазона») самок мышей инбредной линии СВА 10–12-недельного возраста, выращенных в виварии лаборатории «Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды» на кафедре анатомии, физиологии и медико-биологической подготовки Челябинского государственного педагогического университета. Опытную группу беременных самок подвергали воздействию ЭМП РЧ дециметрового диапазона с несущей частотой 925 ± 3 МГц (частота следования импульсов соответствовала сигналу подвижной станции мобильной

связи стандарта GSM) с интенсивностью 1,2 мВт/см², периодом экспозиции 10 минут ежедневно в течение 5 суток. Уровень плотности потока мощности соответствовал максимально допустимому уровню, соответствующему предельно допустимой энергетической экспозиции (200 мкВт·ч/см²), принятой санитарными правилами и нормами для электромагнитных излучений радиочастотного диапазона (СанПин 2.2.4/2.18.055-96).

Животных в контейнере не фиксировали и они могли перемещаться в процессе облучения, что обеспечивало усреднение дозы облучения. Контейнер с животными располагался в специальной камере, поверхности которой были покрыты радиопоглощающим материалом.

Забор материала проводили на следующие сутки после последней экспозиции. Все работы с лабораторными животными проводили согласно принципам гуманного отношения к животным и правилам лабораторной практики [19].

Проводили подсчет общего числа эритроцитов, лейкоцитов в периферической крови, числа ядросодержащих клеток в костном мозге, селезенке и тимусе с помощью камеры Горяева. Анализ гемограмм проводили по мазкам, окрашенным по Романовскому-Гимзе [12].

Определение частоты микроядер в эритроцитах костного мозга мышей СВА проводили по методу Schmid [23]. Метод учета микроядер в эритроцитах костного мозга широко используется как показатель и критерий генотоксического поражения [10].

Для оценки частоты микроядер в эритроцитах из бедренной кости мышцы костный мозг выдували на предметное стекло и готовили мазки. Препараты костного мозга окрашивали по Романовскому-Гимзе. При анализе препаратов оценивали частоту встречаемости ПХЭ и НХЭ. В популяциях ПХЭ выявляли клетки с микроядрами, количество которых рассчитывали на 1000 ПХЭ.

Определение морфометрических показателей (масса и индексы органов) селезенки и тимуса проводили с помощью торсионных весов типа ВТ с точностью до 1,0 мг.

Результаты были подвергнуты статистической обработке с вычислением среднего арифметического значения (M), ошибки средней арифметической (m). Для сравнения средних величин использовали t-критерий Стьюдента.

Результаты исследования. Согласно данным [11, 16] следует, что такие показатели, как количество лейкоцитов в периферической крови, количество ядерных клеток, коэффициент ПХЭ/НХЭ в костном мозге зависели от длительности воздействия ЭМП РЧ на экспериментальных животных.

По результатам наших исследований было установлено, что в периферической крови у беременных животных 2-й группы (беременные, «ложное облучение») по сравнению с самками из 1-й группы («фон») наблюдалось снижение числа эритроцитов в 1 мкл крови на 23 %, а также увеличение лейкоцитов на 70 %. Снижение числа эритроцитов, возможно, обусловлено развитием «физиологической анемии», связанной с гемодилюцией, когда объем циркулирующей плазмы крови увеличивается на 40 %, а масса эритроцитов только на 15–20 % [7, 13, 20]. Полученные нами показатели не противоречат литературным данным.

У беременных самок мышей СВА, подвергнутых воздействию ЭМП РЧ (3-я группа), отмечалось повышение общего количества эритроцитов в периферической крови на 54 % по отношению ко 2-й «ложно облученной» группе животных. Через сутки после окончания действия ЭМП РЧ у животных опытной группы было отмечено повышенные количества лейкоцитов в 3 раза по отношению к фоновому контролю и в 1,5 раза к «ложно облученной» группе животных (табл. 1). Увеличение количества лейкоцитов в периферической крови лабораторных животных, подвергнутых ЭМП РЧ, рассматривается как сокращение длительности клеточного цикла в костном мозге [16].

Снижения уровня гемоглобина, возможного в период беременности, у животных 2-й группы (беременные, «ложное облучение») и 3-й группы (облучение ЭМП) выявлено не было, что обусловлено, на наш взгляд, увеличением общего количе-

Таблица 1

Показатели периферической крови интактных самок мышей линии СВА и самок мышей, подвергнутых воздействию ЭМП РЧ в период беременности

Группа животных	Общее число эритроцитов, ×10 ⁶ в 1 мкл	Общее число лейкоцитов, ×10 ³ в 1 мкл	Гемоглобин, г/%
Группа чистого контроля («фон») n = 10	10,58 ± 0,53	4,65 ± 0,19	13,30 ± 1,15
Контрольная группа («ложное облучение») n = 42	8,12 ± 1,02	7,90 ± 0,67*	13,52 ± 0,82
Опытная группа («облучение ЭМП РЧ») n = 30	12,47 ± 1,28**	13,58 ± 2,05**	12,70 ± 0,80

* p ≤ 0,05 по отношению к фоновому контролю; ** p ≤ 0,05 по отношению к 2-й контрольной группе беременных животных («ложное облучение»).

ства эритроцитов в периферической крови. (см. табл. 1).

В лейкограмме беременных самок 2-й группы (беременные, «ложное облучение») по сравнению с «фоновым» контролем происходит снижение доли лимфоцитов и повышение лейкоцитов гранулоцитарного ряда, в том числе и незрелых форм (палочкоядерные и юные) (табл. 2). Увеличение процентного содержания нейтрофилов в лейкоцитарной формуле происходит на фоне активации лейкопоэза и необходимо для обезвреживания продуктов метаболизма в организме беременной самки.

В лейкограмме облученных животных было отмечено менее выраженное увеличение относительного числа всех групп нейтрофилов по отношению к группе «фоновый» контроля и повышение доли лимфоцитов по сравнению со 2-й контрольной группой («ложное облучение») беременных самок мышей СВА (см. табл. 2). Повышение доли лимфоцитов в периферической крови при облучении ЭМП РЧ обусловлено включением иммунных механизмов, лежащих в основе аутоиммунных реакций в организме беременной самки к тканям плода [18].

Для установления особенностей ответной реакции системы крови у беременных животных, подвергнутых воздействию ЭМП РЧ низкой интенсивности, в качестве материалов для сравнения нами были использованы результаты исследований биологических эффектов ЭМП РЧ на клетки, системы органов и организм в целом д.б.н. Е.А. Прякина и к.б.н. И.А. Коломиец [11, 16].

При подсчете количества ядерных клеток в костном мозге были отмечены отличия показателей у беременных животных, подвергнутых воздействию ЭМП РЧ от показателей небеременных облученных животных. По данным [16] в костном мозге облученных животных регистрировалось достоверное повышение ядерных клеток в 1,5 раза по отношению к контролю. По результатам нашего исследования наблюдалась лишь тенденция

к увеличению ядросодержащих клеток в костном мозге беременных самок 3-й группы («облучение ЭМП РЧ») с $11,22 \pm 1,69 \cdot 10^6$ до $15,12 \pm 3,61 \cdot 10^6$ по сравнению со 2-й группой беременных животных («ложное облучение»).

Одним из подходов, позволяющих оценить процессы созревания в костном мозге, является определение соотношения эритроцитов разной степени зрелости в органе – коэффициент отношения полихроматофильных эритроцитов (ПХЭ) к нормальным хроматофильным эритроцитам (НХЭ) [23].

В исследованиях, проведенных Коломиец И.А., было выявлено достоверное увеличение коэффициента ПХЭ/НХЭ на 30 % в опытной группе животных, подвергнутых воздействию ЭМП РЧ ($1,81 \pm 0,11$) по сравнению с контрольной группой «ложное облучение» ($1,39 \pm 0,05$). В наших исследованиях отмечалось достоверное увеличение в 3-й опытной группе в 1,3 раза по сравнению со 2-й группой и в 3,4 раза по сравнению с 1-й группой контроля. Предполагаем, что увеличение коэффициента ПХЭ/НХЭ во 2-й и 3-й группах животных при воздействии исследуемого фактора происходит не за счет замедления созревания эритроцитов или увеличения пролиферации незрелых эритроцитов (ПХЭ), поскольку по сравнению с ложно облученными животными отмечается лишь тенденция к увеличению ядерных клеток в костном мозге, а связано с ускорением миграции зрелых эритроцитов в периферическую кровь (табл. 3).

С помощью микроядерного теста было выявлено достоверное увеличение частоты ПХЭ с микроядрами во 2-й и 3-й группах мышей СВА в 2,3 и 2,5 раза соответственно по сравнению с фоновым контролем. У самок мышей 3-й опытной группы при воздействии ЭМП РЧ по сравнению с группой ложно облученных животных отмечалось достоверное снижение частоты НХЭ с микроядрами с $2,5 \pm 0,2 \text{ ‰}$ до $1,7 \pm 0,3 \text{ ‰}$ и тенденция к увеличению частоты ПХЭ с микроядрами с $5,0 \pm 0,2$ до $5,5 \pm 0,3 \text{ ‰}$. Отсутствие достоверных изменений

Таблица 2

Лейкограммы intactных самок мышей линии СВА и самок мышей, подвергнутых воздействию ЭМП радиочастотного диапазона на 2–3-й неделе беременности (в %)

Группа животных	Юные нейтрофилы	Палочко-ядерные нейтрофилы	Сегментоядерные нейтрофилы	Эозинофилы	Базофилы	Моноциты	Лимфоциты
Группа чистого контроля («фон»)	0	2,8–3,0	16,9–21,7	1,5–2,3	0	0,6–1,4	72,6–78,0
Контрольная группа («ложное облучение»)	3,0–4,4*	14,0–14,8*	15,7–22,7	0,5–1,1*	0–0,2	1,0–1,6	55,1–65,5*
Опытная группа («облучение ЭМП РЧ»)	2,0–3,8*	8,7–12,3**	12,7–17,1	0,7–1,1*	0	0,2–0,8	66,3–74,5**

* $p \leq 0,05$ по отношению к фоновому контролю; ** $p \leq 0,05$ по отношению к 2-й контрольной группе беременных животных («ложное облучение»).

Таблица 3

Соотношение эритроцитов различной степени зрелости
в костном мозге у экспериментальных животных (ПХЭ/НХЭ)

Экспериментальные группы	Отношение ПХЭ/НХЭ
Группа чистого контроля («фон») n = 10	1,13 ± 0,11
Контрольная группа («ложное облучение») n = 42	2,85 ± 0,31*
Опытная группа («облучение ЭМП РЧ») n = 30	3,95 ± 0,53**

* $p \leq 0,05$ по отношению к фоновому контролю; ** $p \leq 0,05$ по отношению к 2-й контрольной группе беременных животных («ложное облучение»).

Таблица 4

Морфометрические показатели селезенки и тимуса интактных самок мышей линии СВА
и самок мышей, подвергнутых воздействию ЭМП РЧ на 2–3-й неделе беременности

Показатели	Группа чистого контроля («фон») n = 10	Контрольная группа («ложное облучение») n = 42		Опытная группа («облучение ЭМП РЧ») n = 30	
		2-я неделя	3-я неделя	2-я неделя	3-я неделя
Масса селезенки	40,5 ± 2,0	91,6 ± 7,3*	70,0 ± 3,7*	85,1 ± 6,3*	57,8 ± 2,0*
Индекс селезенки	2,78 ± 0,12	4,33 ± 0,29*	2,68 ± 0,16	4,10 ± 0,27*	2,19 ± 0,13*
Масса тимуса	44,7 ± 2,1	28,9 ± 4,9*	21,4 ± 2,9*	27,3 ± 2,5*	8,0 ± 1,8**
Индекс тимуса	3,06 ± 0,14	1,37 ± 0,24*	0,8 ± 0,12*	1,31 ± 0,11*	0,3 ± 0,08**

* $p \leq 0,05$ по отношению к фоновому контролю; ** $p \leq 0,05$ по отношению к 2-й контрольной группе беременных животных.

частоты ПХЭ с микроядрами в костном мозге у мышей опытной группы позволяет предположить, что воздействие ЭМП РЧ приводит к развитию в клетках адаптивных реакций, направленных на усиление репарационных процессов ДНК.

При исследовании органов иммунной системы в отличие от данных, полученных в [16], согласно которым достоверных изменений массы селезенки и тимуса у животных при воздействии ЭМП РЧ не отмечалось, у беременных животных морфометрические показатели (масса и индекс) селезенки и тимуса зависели от периода беременности (табл. 4).

Достоверное снижение массы и индексов селезенки и тимуса наиболее было выражено у самок мышей опытной группы, находившихся на 3-й неделе беременности (тимус – в 2,5 раза, селезенка – в 1,2 раза) по сравнению со 2-й группой (беременные, «ложное облучение»).

У беременных самок мышей, подвергнутых воздействию ЭМП РЧ, наблюдалось достоверное снижение ядерных клеток в селезенке с $1,28 \pm 0,09 \cdot 10^8$ до $0,92 \pm 0,02 \cdot 10^8$ ($p \leq 0,05$) и тенденция к снижению ядерных клеток в тимусе – с $51,3 \pm 4,6 \cdot 10^6$ до $44,3 \pm 1,8 \cdot 10^6$, по сравнению со 2-й группой ложно облученных беременных животных. Характер изменений количества ядерных клеток в селезенке и тимусе у беременных облученных животных совпадает с данными, представленными в работе [16].

На основании результатов, полученных в экспериментальном исследовании, можно заключить, что в системе крови у беременных животных на воздействие ЭМП РЧ формируются ответные реакции:

- увеличение общего количества эритроцитов в периферической крови, благодаря чему уровень гемоглобина находится в пределах физиологической нормы;

- увеличение общего количества лейкоцитов в крови как результат сокращения длительности клеточного цикла в костном мозге;

- смена дифференцировочного потенциала стволовых кроветворных клеток в пользу лимфоидного роста в костном мозге в связи с инволюцией органов иммунной системы – селезенки и тимуса.

Эти изменения носят адаптационный характер и обеспечивают благоприятное течение беременности.

Литература

1. Бобраков, С.Н. Электромагнитная составляющая современной урбанизированной среды / С.Н. Бобраков, А.Г. Карташев // Радиационная биология. Радиозкология. – 2001. – Т. 41, № 6. – С. 706–711.

2. Влияние микроволнового излучения на некоторые показатели клеточного иммунитета в условиях хронического воздействия / М.Г. Шанда-

ла, Г.И. Виноградов, М.И. Руднев, С.Ф. Рудакова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1983. – Т. 23, № 4. – С. 544–546.

3. Гармашева, Н.Л. Введение в перинатальную медицину / Н.Л. Гармашева. – М.: Медицина, 1978. – 265 с.

4. Григорьев, Ю.Г. Биоэффекты хронического воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона малых интенсивностей (стратегия нормирования) / Ю.Г. Григорьев, А.В. Шафиркин, А.Л. Васин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – Т. 43, № 5. – С. 501–511.

5. Григорьев, Ю.Г. Сотовая связь: радиобиологические проблемы и оценка опасности / Ю.Г. Григорьев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2001. – Т. 41, № 5. – С. 500–513.

6. Григорьев, Ю.Г. Электромагнитные поля сотовых телефонов и здоровье детей и подростков (Ситуация, требующая принятия неотложных мер) / Ю.Г. Григорьев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2005. – Т. 45, № 4. – С. 442–450.

7. Давыдова, С.Н. Беременность и роды при заболеваниях сердца / С.Н. Давыдова. – М.: Медицина, 1983. – 184 с.

8. Дунаев, В.Н. Электромагнитные излучения и риск популяционному здоровью при использовании средств сотовой связи / В.Н. Дунаев // Гигиена и санитария. – 2007. – № 6. – С. 56–57.

9. Ерофеева, Л.М. Состояние тимуса мышей в различные сроки облучения / Л.М. Ерофеева // Морфология. – 2000. – Т. 117, № 1. – С. 42–46.

10. Ильинских, Н.Н. Микроядерный анализ и цитогенетическая нестабильность / Н.Н. Ильинских, В.В. Новицкий, Н.Н. Ванчугова // Томск. – 1992. – 136 с.

11. Коломиец, И.А. Адаптивные реакции клеток крови млекопитающих на воздействие электромагнитных полей радиочастотного диапазона: автореф. дис. ... канд. биол. наук / И.А. Коломиец. – Челябинск, 2009. – 23 с.

12. Лабораторные методы исследования в клинике: справ. / под ред. В.В. Меньшикова. – М.: Медицина, 1987. – 168 с.

13. Мурашко, А.В. Анемия, железо и исход беременности / А.В. Мурашко // Гинекология. – 2002. – Т. 4, № 4. – С. 232–238.

14. Некрасова, И.В. Половые стероидные гормоны беременности как регуляторы функцио-

нальной активности клеток иммунной системы: автореф. дис. ... канд. биол. наук / И.В. Некрасова. – Челябинск, 2010. – 24 с.

15. Пальцев, Ю.В. Научные основы оценки эффективности средств защиты от электромагнитных полей / Ю.В. Пальцев, Н.Ф. Измеров, Г.А. Суворов // Медицина труда и промышленная экология. – 2002. – № 9. – С. 52–58.

16. Пряхин, Е.А. Адаптационные реакции на субклеточном, клеточном, системном и организменном уровнях при воздействии электромагнитных полей: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Е.А. Пряхин. – Челябинск, 2007. – 51 с.

17. Пряхин, Е.А. Влияние неионизирующих электромагнитных излучений на животных и человека: моногр. / Е.А. Пряхин, А.В. Аклеев. – Челябинск: Изд-во «Полиграф – Мастер», 2007. – 220 с.

18. Руднев, М.И. Изучение биологического действия неионизирующей микроволновой радиации / М.И. Руднев // Изучение биологического действия физических факторов окружающей среды: материалы 3-го советско-американского рабочего совещания, 11–15 мая 1981 г. – Киев: Здоров'я, 1982. – С. 34–46.

19. Санитарные правила по устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев) №1945-73 от 06.04.1973.

20. Старцева, Н.В. Прогнозирование частоты гестоза при анемическом синдроме у беременных женщин / Н.В. Старцева, М.В. Савельева, М.В. Швецов // Естественные роды – роды XXI века: материалы конф., январь 2009 г. – Ярославль, 2009. – С. 45–51.

21. Lin, J. Effects of repeated exposure to 148 MHz radiowaves on growth et hewmatology of mice / J. Lin, J.C. Nelson, M.E. Ekstrom // Radio Sci. – 1979. – Vol. 14. – P. 173–179.

22. Smialowicz, R.J. Hematologic ent immunologic effects. Biological. Effects of Radiofrequency Radiation / R.J. Smialowicz // Health Effects Research Laboratory Research Triangle Oark, North Carolina. – 1984. – P. 5–28.

23. Schmid, W. Chemical mutagenesis in animals. The marrow of the Chinese hamster as an in vivo test system / W. Schmid, K. Boller // Haematologische Befunde nach Behandlung mit Trenimon. – Humangenetik. – 1975. – Vol. 11. – P. 35–54.

Поступила в редакцию 2 сентября 2010 г.