

УДК 614.875

Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Белая О.В.

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ УРОВНЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», пр-т Буденного, 31, Москва, Россия, 105275

Введение. Актуализация вопросов корректной оценки воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) на организм человека в ближней зоне источника и совершенствования методов контроля определили необходимость разработки прогностической модели, обеспечивающей сопоставление различных условий воздействия с точки зрения их биологической эквивалентности.

Цель исследования — разработка прогностической модели, позволяющей проводить сопоставление различных условий облучения ЭМП РЧ биологических объектов с точки зрения их эквивалентности по отдельным биологическим эффектам.

Материалы и методы. Рассматривалась задача оценки эквивалентной экспозиции ЭМП РЧ лабораторных крыс и человека в условиях ближней и дальней зоны источника. Для ее решения предложено использовать совокупность критериев, включающих в себя как величины поглощения энергии в облученных объектах, так и время экспозиции, и позволяющих учитывать особенности видовой чувствительности организма человека и животных к данному фактору.

Результаты исследований. Представлены соотношения для расчета эквивалентных уровней интенсивности ЭМП РЧ для конкретного биологического объекта в ближней и дальней зонах. Даны соотношения для расчета уровней ЭМП в величинах плотности потока энергии (ППЭ) и энергетической экспозиции для условий облучения человека, эквивалентных экспериментальным условиям экспозиции крысы.

Обсуждение. Разработанная модель может использоваться при сопоставлении экспериментальных условий облучения в ближней зоне источника с величинами ППЭ, нормируемыми для зоны сформированной электромагнитной волны, что наиболее важно для диапазона частот >300 МГц, а также при интерпретации биологических эффектов ЭМП, полученных в экспериментах на животных, для оценки условий экспозиции человека. Так обеспечивается биологически обоснованный подход к контролю интенсивности ЭМП РЧ на любом удалении от источника и сопоставление уровней напряженности поля с ППЭ в зоне сформированной электромагнитной волны.

Выводы. Предложенная модель учитывает физические закономерности поглощения энергии в различных объектах и различия в видовой чувствительности организмов к воздействию фактора; обеспечивает возможность прогнозирования критически важных уровней облучения для отдельных органов и систем человека, в том числе с учетом времени действия фактора.

Ключевые слова: электромагнитное поле; биологические эффекты; радиочастотный диапазон; модель; эквивалентные условия

Для цитирования: Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Белая О.В. Прогностическая модель биологической оценки эквивалентных уровней воздействий электромагнитных полей радиочастотного диапазона. *Мед. труда и пром. экол.* 2018. 12: 4–8. <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2018-12-4-8>

Для корреспонденции: Белая Ольга Викторовна, мл. научный сотр. НИИ МТ. E-mail: ogabelaya@gmail.com

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Nina B. Rubtsova, Sergey Yu. Perov, Olga V. Belaya

PREDICTIVE MODEL OF BIOLOGICAL EQUIVALENT RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD EXPOSURE ASSESSMENT

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budennogo Ave., Moscow, Russia, 105275

Introduction. The issues of radiofrequency electromagnetic field in near field human body exposure correct assessment and control methods improvement actualization determined the need to develop a predictive model that provides different exposure conditions in terms of their biological equivalence comparison.

Materials and methods. The problem of laboratory rats and humans equivalent EMF exposure assessment in near and far fields was considered. It is proposed to use a set of criteria that include both the power absorption in the irradiated objects values and the exposure time, allowing to take into account the peculiarities of human body and animals species sensitivity to this factor to solve this problem.

Results. Relations for RF EMF equivalent levels values calculation for concrete biological object in near and far fields are presented. There are presented the ratio to calculate EMF levels in terms of power density and energy exposure to case of human body exposure that is equivalent to experimental conditions of rats exposure.

Discussion. The developed model can be used to compare the experimental conditions of exposure in the near field with PD values for far field (formed electromagnetic wave), which is most important for >300 MHz frequencies, as well as for the interpretation of EMF biological effects obtained in animal experiments to human exposure conditions assess. This provides a biologically based approach to control RF EMF intensity at any distance from the source and the comparison of the field strength levels with the PD values in the zone of the formed electromagnetic wave.

Conclusion. The proposed model takes into account the physical patterns of energy absorption in different objects and differences of organisms species sensitivity to factor exposure; provides the ability to predict critical levels of irradiation for different human body organs and systems, taking into account the time of the factor exposure too.

Keywords: *electromagnetic field; biological effects; radiofrequency; model; equivalent exposure*

For citation: Rubtsova N.B., Perov S.Yu., Belaya O.V. Predictive model of biological equivalent radiofrequency electromagnetic field exposure assessment. *Med. truda i prom. ekol.* 2018. 12: 4–8. <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2018-12-4-8>

For correspondence: Olga V. Belaya, junior researcher, IRIOH. E-mail: ogabelaya@gmail.com

Sponsorship: The study had no sponsorship.

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests.

Введение. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) являются одним из ведущих физических факторов современной среды обитания и профессиональной деятельности человека, что обусловлено расширением области применения электромагнитной энергии и, как следствие, увеличением разнообразия источников ЭМП РЧ, их режимов работы и условий использования, особенно вблизи тела человека.

Корректная оценка воздействия ЭМП РЧ на организм человека в условиях ближней зоны источника является важным вопросом обеспечения электромагнитной безопасности на современном этапе, прежде всего в связи с активным внедрением носимых передающих радиотехнических средств и необходимостью совершенствования подходов и методов контроля фактора, учитывающих различные варианты облучения.

Действующие отечественные гигиенические нормативы [1,2] производственных воздействий регламентируют уровни экспозиции ЭМП РЧ по интенсивности внешнего падающего ЭМП и продолжительности воздействия. Уровень интенсивности ЭМП в диапазоне частот выше 300 МГц нормируется только по величине ППЭ, характеризующей облучение в зоне сформированного поля, без учета возможности воздействия в ближней зоне. Однако физические особенности формирования электромагнитной волны и структуры ЭМП РЧ в ближней зоне источника определяют необходимость оценки интенсивности внешнего поля по напряженности электрического и магнитного полей, так как величина ППЭ адекватно характеризует уровень экспозиции лишь в дальней зоне (зоне сформированной волны). Регламентация времени воздействия ЭМП РЧ является одним из методов защиты персонала и реализуется на основе параметра энергетической экспозиции, допускающего уменьшение времени нахождения человека при увеличении интенсивности внешнего воздействия до максимально допустимых уровней. Стоит отметить, что действующие в Российской Федерации гигиенические нормативы производственных воздействий ЭМП РЧ не предусматривают нормирование параметров поглощения энергии в биологическом объекте в отличие от международных стандартов безопасности и рекомендаций [3–5]. Согласно этому принципу, в качестве основного количественного показателя оценки поглощения энергии ЭМП РЧ используется дозиметрическая величина удельной поглощенной мощности (УПМ), характеризующая количество поглощенной электромагнитной энергии в расчете на единицу объема (массы) тела, выражаемое в Вт/кг. Несмотря на сложность оценки УПМ в гетерогенных структурах и невозможность ее определения в реальных биологических объектах, применение этого подхода обеспечивает возможную оценку условий экспозиции биологического объекта, в т.ч. человека, ЭМП РЧ в ближней зоне источника излучения.

Расчет и анализ распределения величины УПМ в облученном объекте позволяет установить количественные взаимосвязи между внешним падающим ЭМП и характером поглощения энергии в биологическом объекте, что играет ключевую роль в оценке и интерпретации регистри-

руемых биологических эффектов [6–9]. Поскольку в гигиенической практике изучение биологического действия ЭМП направлено, в первую очередь, на оценку характера и степени опасности воздействия фактора на человека, то особо актуальной является задача экстраполяции экспериментальных данных с животных на человека, которая к настоящему времени не получила достаточной разработки и окончательного решения. В ряде работ [6–8,10–13] отмечается особая важность и перспективность использования данных дозиметрических исследований при решении вопросов переноса результатов исследований эффектов ЭМП, полученных в эксперименте на лабораторных животных, на человека, в том числе и количественного сопоставления пороговых уровней облучения. Предложенные подходы основаны на учете не только особенностей и различий частотных характеристик поглощения энергии ЭМП животными различных видов [7,14], но и различий в скорости проявления реакций на воздействие фактора, а также на разработке представлений об биологически эквивалентных временах для различных видов млекопитающих [13,15–17].

Представляется перспективным для совершенствования принципов контроля уровней ЭМП, в том числе и в ближней зоне источника, использовать в комплексе критерии поглощения энергии и биологически эквивалентного времени воздействия при сопоставлении уровней воздействия не только для различных биологических объектов, но и для различных условий экспозиции.

Цель исследования — разработка прогностической модели, позволяющей проводить сопоставление различных условий облучения ЭМП РЧ биологических объектов с точки зрения их эквивалентности по отдельным биологическим эффектам.

Материалы и методы. При разработке прогностической модели изучалась возможность оценки эквивалентной экспозиции ЭМП РЧ лабораторных крыс и человека в условиях ближней и дальней зоны источника. Сложность заключается в необходимости сопоставления исходных условий экспозиции в ближней зоне источника с величинами ППЭ, нормируемыми для зоны сформированной электромагнитной волны, а также в интерпретации биологических эффектов, полученных в эксперименте на животных, в целях оценки условий экспозиции человека. Предполагается, что воздействие ЭМП осуществляется на одной частоте для всех оцениваемых условий и биологических объектов.

Исходными данными для разработки модели послужили следующие величины:

- 1) $ППЭ_{оп}$ — опорный уровень ППЭ в дальней зоне, с которым сопоставляются исходные экспериментальные условия облучения (ближняя зона), мкВт/см², величина принята условно;
- 2) $УПМ_{БЗ}^{кр}$ — величина УПМ в теле крысы при облучении в экспериментальных условиях (ближняя зона), Вт/кг, расчетная величина;
- 3) $УПМ_{БЗ}^{чел}$ — величина УПМ в теле крысы при облучении в дальней зоне, Вт/кг, расчетная величина;
- 4) $УКР_{БЗ}^{чел}$ — величина УПМ в теле человека при облучении в дальней зоне, Вт/кг, расчетная величина;

5) $УП^*_{БЗ}$ — величина УПМ в теле человека при облучении в ближней зоне, Вт/кг, расчетная величина;

6) $t_{кр}$ — время воздействия фактора на крысу в эксперименте, сутки;

Разрабатываемая модель должна обеспечить оценку следующих величин:

1) $ППЭ^*_{кр}$ — уровень ППЭ, эквивалентный исходным экспериментальным условиям облучения крысы в ближней зоне, мкВт/см², прогнозируемая величина;

2) $ППЭ^{*кв}$ — уровень облучения человека в величинах ППЭ, эквивалентный исходным экспериментальным условиям облучения крыс в ближней зоне, мкВт/см², прогнозируемая величина;

3) $ЭЭ_ч$ — энергетическая экспозиция для человека, эквивалентная исходным экспериментальным условиям облучения крыс в ближней зоне, прогнозируемая величина.

Для решения обозначенной задачи представляется целесообразным оценивать эквивалентность воздействий ЭМП РЧ, исходя из равенства величины УПМ в облученных объектах, которое обеспечивается подбором интенсивности внешнего воздействия, а также с учетом критерия времени экспозиции, позволяющим учитывать особенности видовой чувствительности организма человека и животных к данному фактору. Для определения времени воздействия фактора на человека ($t_ч$), эквивалентного по биологическому эффекту времени воздействия на крысу, использовалось соотношение [13]:

$$lg_ч = 0,47 + 1,18 \times t_{кр} \quad (1)$$

где $t_ч$ — время воздействия фактора на человека, сутки; $t_{кр}$ — время воздействия фактора на животное, сутки.

Разработка прогностической модели проводилась на основе следующих принципов оценки эквивалентности воздействий ЭМП РЧ на различные биологические объекты:

1) условия облучения данного объекта (животного или человека) ЭМП РЧ в ближней и дальней зонах источника можно считать биологически эквивалентными, если они вызывают в объекте УПМ одинаковой величины и действуют в течение одинакового времени, что позволяет перенести биологический эффект, наблюдаемый у облучаемого объекта в ближней зоне, на условия облучения в дальней зоне.

2) условия облучения животного можно считать биологически эквивалентными для человека по конкретному биологическому эффекту, если они обеспечивают такую же величину УПМ в течение биологически эквивалентного времени облучения.

Для обоснования эквивалентности условий экспозиции животных и человека целесообразно сопоставлять средние значения УПМ для всего объекта; также допускается оценка УПМ для отдельных органов и систем организма по соответствующим биологическим показателям, оцениваемым в эксперименте.

Результаты исследований. Сравнительный анализ величин поглощения электромагнитной энергии в условиях ближней и дальней зон для животного и человека позволяет определить интенсивность облучения в условиях дальней зоны, эквивалентную условиям экспозиции в ближней зоне. Подбор уровней интенсивности внешнего ЭМП в ближней и дальней зонах осуществляется по одинаковым УПМ для конкретного объекта через коэффициент перехода между ближней и дальней зонами $K_{БЗ-ДЗ}$, который рассчитывается по формуле:

$$K_{БЗ-ДЗ} = УПМ_{ДЗ} / УПМ_{БЗ} \quad (2)$$

Тогда величина ППЭ в дальней зоне, которой соответствуют исходные условия облучения крыс в ближней зоне, определяется по следующей формуле:

$$ППЭ^*_{кр} = ППЭ_{опор} \times (1/K_{БЗ-ДЗ}), \quad (3)$$

Аналогично по ф-ле 2 определяется величина ППЭ в дальней зоне, которой соответствует исходный уровень облучения человека в ближней зоне.

В прогностической модели для определения условий облучения человека, которые будут эквивалентны экспериментальным условиям облучения животных по исследуемому биологическому эффекту, предполагалось выполнение следующих условий: в теле и отдельных органах и системах крысы и человека образуются УПМ равной величины, а эквивалентные по УПМ условия облучения крыс и человека действуют в течение биологически эквивалентного времени.

Условие эквивалентности экспозиции крысы и человека по равенству УПМ выражается соотношением:

$$УПМ^*_{ч} = УПМ^*_{кр} = УПМ^*_{кр} \quad (4)$$

где $УПМ^*_{ч}$ — УПМ в теле человека, эквивалентная условиям облучения животных; $УПМ^*_{кр} = УПМ^*_{кр}$ УПМ в теле крысы при облучении в экспериментальных условиях (ближняя зона).

Из равенства (4) следует, что при известном уровне экспозиции животного в эксперименте независимо от условий ближней или дальней зоны источника можно оценить величину УПМ, эквивалентную для человека.

Расчет уровней интенсивности облучения человека в величинах ППЭ, эквивалентных экспериментальным условиям экспозиции крысы по УПМ, определяется по формуле:

$$ППЭ^*_{экс} = ППЭ_{опор} \times (УПМ^*_{кр} / УПМ^*_{БЗ}). \quad (5)$$

Расчет энергетической экспозиции для условий облучения человека, эквивалентных экспериментальным условиям облучения крыс, проводился с учетом эквивалентного времени, определяемого из соотношения (1), и эквивалентного уровня интенсивности, рассчитанного по ф-ле (5):

$$ЭЭ_ч = ППЭ^*_{экс} \times t_{эч} = ППЭ_{опор} \times (УПМ^*_{кр} / УПМ^*_{БЗ}) \times t_{эч}. \quad (6)$$

Обсуждение. Предложенная прогностическая модель оценки эквивалентности условий экспозиции ЭМП РЧ направлена на прогнозирование у человека потенциально возможного биологического эффекта и определение соответствующих уровней экспозиции, в том числе и в ближней зоне источника. В ее основе использованы энергетический и временной критерии эквивалентности воздействия фактора. Энергетический подход к подбору эквивалентных условий облучения различных биологических объектов основан на обеспечении требуемой величины УПМ и может быть реализован экстраполяцией по частоте или по интенсивности ЭМП [7]. Использование критерия эквивалентности времени экспозиции позволяет учитывать особенности биологического действия фактора, прежде всего, связанные с различиями в видовой чувствительности организмов к воздействию ЭМП [7]. Время является важным условием развития ответной реакции организма на действие фактора, в том числе и в оценке кумулятивного действия, оно также служит одним из контролируемых показателей экспозиции для условий производственных воздействий.

Характер биологического действия ЭМП обусловлен, в первую очередь, поглощенной в тканях частью электро-

магнитной энергии [6-9]. Поэтому дозиметрические параметры воздействия ЭМП РЧ, отражающие физические закономерности поглощения электромагнитной энергии, являются необходимым критерием в оценке эквивалентности условий облучения, что позволяет проводить сравнение условий облучения различной интенсивности. Кроме того, параметр УПМ, который определяется как теоретически, так и экспериментально, позволяет использовать его при оценке экспозиции в условиях и ближней, и дальней зоны, что делает его универсальным показателем оценки экспозиции для любых условий облучений ЭМП РЧ. Такое положение позволяет проводить сравнительный анализ биологической значимости условий экспозиции в ближней и дальней зонах источника ЭМП на основе параметра УПМ. Сравнительный анализ характера поглощения электромагнитной энергии в условия ближней и дальней зон для животного и человека на основе предложенного подхода позволяет определить интенсивность облучения в дальней зоне, эквивалентную условиям облучения в ближней зоне для каждого биологического объекта.

Одной из особенностей разработанной модели является возможность количественного перехода между уровнями экспозиции в ближней и дальней зоне источника ЭМП РЧ на основе критериев их биологической эквивалентности. Таким образом, обеспечивается биологически обоснованный подход контроля интенсивности ЭМП РЧ на любом удалении от источника и сопоставление уровней напряженности поля с нормируемыми величинами ППЭ в зоне сформированной электромагнитной волны. Это решение важно, прежде всего, для источников ЭМП в диапазоне частот выше 300 МГц, значительная часть которых определяет условия экспозиции человека в ближней зоне, но нормируется только по величине ППЭ.

В тоже время рассмотренная модель не является совершенной, так как не учитывает частотно зависимый характер поглощения ЭМП РЧ в условиях широкополосного излучения, а также не позволяет более детально рассмотреть особенности структуры поглощения электромагнитной энергии внутри тела животных и человека.

Выводы:

1. Совершенствование методов контроля степени воздействия ЭМП РЧ на человека возможно на основе использования комплекса критериев эквивалентности условий экспозиции, главными из которых являются критерий эквивалентности поглощения энергии и критерий биологически эквивалентного времени воздействия фактора. Такой подход позволяет сопоставлять условия ближней и дальней зоны источника с единых позиций биологической значимости как для животных, так и для человека.

2. Разработанная прогностическая модель позволяет проводить сопоставление условий облучения как животных, так и человека ЭМП РЧ в дальней и ближней зоне источника, учитывая эквивалентность биологического эффекта.

3. Предложенная модель позволяет осуществлять экстраполяцию экспериментальных данных с животных на человека, что особенно важно в рамках изучения биологического действия ЭМП, в том числе в целях обоснования, коррективы и гармонизации ПДУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. REFERENCES стр. 3–5, 14)

1. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ №81 от 21.06.2016.

2. СанПиН 2.1.82/2.4.1190–03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. М.: ФЦГСЭН Минздрава России; 2003.

6. Савин Б.М. Проблема гигиенического нормирования электромагнитных излучений радиочастот на современном этапе. В кн.: *Методологические вопросы гигиенического нормирования электромагнитных излучений радиочастотного диапазона*. М.: НИИ ГТЦПЗ АМН СССР; 1979: 12–42.

7. Штемлер В.М., Колесников С.В. Особенности взаимодействия электромагнитных полей с биообъектами. В кн.: *Итоги науки и техники. Физиология человека и животных. Т. 22. Биологическое действие электромагнитных излучений*. М.: ВНИИ-ТИ; 1978: 9–67.

8. Кудряшов Ю.Б., Перов Ю.Ф., Рубин А.Б. *Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения*. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2008.

9. Кузнецов А.Н. *Биофизика электромагнитных воздействий: (Основы дозиметрии)*. М.: Энергоатомиздат; 1994.

10. Никонова К.В., Савин Б.М. Гигиеническое обоснование подходов к нормированию. В кн.: *Методологические вопросы гигиенического нормирования электромагнитных излучений радиочастотного диапазона*. М.: НИИ ГТЦПЗ АМН СССР; 1979: 43–59.

11. Карпов В.Н., Галкин А.А., Давыдов Б.И. Некоторые аспекты дозиметрии при изучении биологического действия неионизирующего электромагнитного излучения. *Космическая биология и авиакосмическая медицина*. 1984; 18(2): 7–22.

12. Дерни К.Х. Модели человека и животных применительно к электромагнитной дозиметрии: Обзор аналитических и численных методов. *ТИИЭР*. 1980; 68(1): 31–9.

13. Тяжелова В.Г., Тяжелов В.В., Акоев И.Г. Проблема определения эквивалентных интенсивностей хронических электромагнитных облучений человека и лабораторных животных. *Известия Академии наук СССР. Серия биологическая*. 1984; 3: 418–27.

15. Давыдов Б.И., Тихончук В.С., Антипов В.В. *Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений*. М.: Энергоатомиздат; 1984.

16. Тяжелова В.Г. Фактор времени при определении эквивалентных условий облучения человека и лабораторных животных. *Радиобиология*. 1981; 21(5): 791–5.

17. Думанский Ю.Д., Иванов Д.С., Карачев И.И. Проблема гигиенического нормирования электромагнитного поля с учетом видовых особенностей организма и времени действия фактора. *Гигиена и сан.* 1986; 12: 15–7.

REFERENCES

1. SanPiN 2.2.4.3359–16. Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace. Utv. Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF № 81 ot 21.06.2016 (in Russian).

2. SanPiN 2.1.82/2.4.1190–03. Hygienic requirements for the placement and operation of land mobile radio communications. Moscow: FCzGSE'N Minzdrava Rossii; 2003 (in Russian).

3. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health physics*. 1998; 74(4): 494–522.

4. IEC 62209–2 ed. 1. Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices — Human models, instrumentation, and procedures — Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz). Geneva, International Electrotechnical Commission; 2010.

5. IEEE 1528–2013. IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques. New York, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 2013.
6. Savin B.M. The problem of hygienic regulation of electromagnetic radiation of radio frequencies at the present stage. V kn.: *Methodological issues of hygienic regulation of electromagnetic radiation in the radio frequency range*. Moscow: NII GTiPZ AMN SSSR; 1979: 12–42 (in Russian).
7. Shtemler V.M., Kolesnikov S.V. Features of the interaction of electromagnetic fields with bioobjects. V kn.: *Results of science and technology. Human and animal physiology. T. 22. Biological effect of electromagnetic radiation*. Moscow: VINITI; 1978: 9–67 (in Russian).
8. Kudryashov Yu.B., Perov Yu.F., Rubin A.B. *Radiation Biophysics: Radio Frequency and Microwave Electromagnetic Radiation*. Moscow: FIZMATLIT; 2008 (in Russian).
9. Kuznecov A.N. *Biophysics of electromagnetic effects: (Basics of dosimetry)*. Moscow: E'nergoatomizdat; 1994 (in Russian).
10. Nikonova K.V., Savin B.M. Hygienic substantiation of approaches to rationing. In: *Methodological issues of hygienic regulation of electromagnetic radiation in the radio frequency range*. Moscow: NII GTiPZ AMN SSSR; 1979: 43–59 (in Russian).
11. Karpov V.N., Galkin A.A., Davy'dov B.I. Some aspects of dosimetry in the study of the biological effects of non-ionizing electromagnetic radiation. *Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya medicina*. 1984; 18(2): 7–22 (in Russian).
12. Derni K.X. Human and Animal Models Applied to Electromagnetic Dosimetry: A Review of Analytical and Numerical Methods. *TIIE' R*. 1980; 68(1): 31–9 (in Russian).
13. Tyazhelova V.G., Tyazhelov V.V., Akoev I.G. The problem of determining its equivalent intensity of chronic electromagnetic radiation of humans and laboratory animals. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya biologicheskaya*. 1984; 3: 418–27 (in Russian).
14. Durney C.H., Massoudi H., Iskander M.F. *Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook*, 4th Edition (Report TR-85-73). Brooks Air Force Base, TX: USAF School of Aerospace Medicine; 1986. Available at: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a180678.pdf>
15. Davy'dov B.I., Tixonchuk B.C., Antipov V.V. Biological effect, rationing and protection from electromagnetic radiation. Moscow: E'nergoatomizdat; 1984 (in Russian).
16. Tyazhelova V.G. The time factor in determining its equivalent radiation conditions for humans and laboratory animals. *Radiobiologiya*. 1981; 21(5): 791–5 (in Russian).
17. Dumanskij Yu.D., Ivanov D.S., Karachev I.I. The problem of hygienic regulation of the electromagnetic field, taking into account the specific features of the organism and the time of action of the factor. *Gigiena i san.* 1986; 12: 15–7 (in Russian).

Поступила 14.11.2018

УДК 616–057:616.24:616–056.52

Кузьмина Л.П.^{1,2}, Хотулева А.Г.^{1,2}

МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ СИНДРОМ ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», пр-т Буденного, 31, Москва, Россия, 105275;

²ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, ул. Трубецкая, 8/2, Москва, Россия, 119991

Введение. Метаболический синдром (МС) в настоящее время рассматривается как междисциплинарная медицинская проблема, что обусловлено широкой его распространенностью и взаимосвязью с развитием сердечно-сосудистых заболеваний и сахарного диабета (СД) 2 типа. Представляет интерес изучение сочетания МС и бронхолегочных заболеваний в связи с общностью патогенетических механизмов.

Цель — оценить актуальность изучения МС у больных профессиональными заболеваниями (ПЗ) органов дыхания и возможность использования молекулярно-генетических и биохимических показателей для оценки риска развития сочетания профессиональной бронхолегочной патологии и метаболических нарушений.

Материалы и методы. Проанализированы результаты общеклинического обследования 257 пациентов с профессиональной бронхолегочной патологией. У пациентов с профессиональной бронхиальной астмой (ПБА) дополнительно определяли уровень лептина в сыворотке крови и полиморфизмы генов системы регуляции воспалительного процесса (интерлейкины–4, 6, 10, фактор некроза опухоли-α, С-реактивный белок (СРБ), рецептор лептина).

Результаты и обсуждение. МС выявлен у 58,7% больных ПБА, у 44,1% лиц с профессиональным хроническим бронхитом, у 48,6% лиц с профессиональной хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) и у 38,7% больных пневмокониозом (ПК). Выявлена ассоциация компонентов МС с показателями функции внешнего дыхания. Подтверждена роль полиморфизмов Gln223Arg гена рецептора лептина и C3872T гена СРБ в развитии лептинорезистентности. Выявлено, что генотип CC (C174G) гена ИЛ–6 повышает риск развития МС в 2,5 раза (OR=2,507, 95% CI=1,045–6,017), наличие трех и более полиморфизмов генов цитокинов повышает необходимость использования системных глюкокортикостероидов для контроля ПБА в 2,4 раза (OR=2,449, 95% CI=1,127–5,324).

Выводы: Мероприятия, направленные на профилактику развития метаболических нарушений у работающих в контакте с промышленным аэрозолями, являются в то же время и мерами по снижению риска развития бронхолегочной патологии и мерами профилактики прогрессирования имеющихся заболеваний. Использование информативных клиничко-лабораторных