

№11

Наукові праці

Видається з грудня 2001 року

Науково-методичний журнал



Серія
«Техногенна безпека»

Випуск 175, 2012
Том 187

Постановою Президії ВАК України від 10.03.2010 року № 1-05/2 цей журнал включено до переліку № 112 наукових фахових видань з технічних наук, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

(Бюлетень ВАК України. – 2010. – № 4)

ПУТИ РАСШИРЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В МЕДИЦИНЕ

Весь спектр электромагнитного излучения чрезвычайно широко применяется в медицинской практике для диагностики и лечения. Для неионизирующего спектра не разрешены вопросы дозиметрии и объекта взаимодействия. Сверхнизкочастотное электромагнитное излучение имеет большую проникающую способность и равномерное распределение в тканях. Введение в практику дозиметрических величин и единиц позволит перейти от эмпирического его применения к научному.

Ключевые слова: дозиметрия сверхнизкочастотного электромагнитного излучения.

Весь спектр електромагнітного випромінювання надзвичайно широко застосовується в медичній практиці для діагностики і лікування. Для неіонізуючого спектру не вирішені питання дозиметрії і об'єкта взаємодії. Наднизькочастотне електромагнітне випромінювання має велику проникаючу здатність і рівномірний розподіл у тканинах. Уведення в практику дозиметричних величин і одиниць дозволить перейти від емпіричного його застосування до наукового.

Ключові слова: дозиметрія наднизькочастотного електромагнітного випромінювання.

All range of electromagnetic radiation is extremely widely applied in medical practice to diagnostics and treatment. For not ionizing range, questions of dosimetry and object of interaction aren't resolved. Superlow-frequency electromagnetic radiation has big penetration and uniform distribution in fabrics. Introduction will allow to pass to practice of dosimetric sizes and units from its empirical application to the scientific.

Key words: dosimetry of superlow-frequency electromagnetic radiation.

На современном этапе развития Медицины: арсенал ее диагностических и лечебных возможностей достаточно внушительный. Вместе с тем, он никогда не сможет стать исчерпывающим, и поэтому все время ведется поиск новых средств и методов для более эффективного оказания диагностической и лечебной помощи.

Цель: на основе анализа электромагнитных излучений разных спектров частот, применяемых в медицинской практике, обозначить пути расширения их использования в клинике.

В основе сегодняшнего представления о материальной части мироустройства лежат две взаимопределяющие формы – Вещество и Поле; закономерности взаимодействия которых предопределяют огромное многообразие проявления функционирования организационно сложных структур органов и систем организма человека. Профилактика и коррекция возникающих в них отклонений от полосы нормы составляет основную цель Медицины.

На молекулярном уровне к физическим законам добавляются химические, описывающие эффекты взаимодействия Вещества и Поля, затем биологические, объясняющие события на субклеточном, клеточном, тканевом, органном, организменном, популяционном, и, наконец, закономерности, связанные с индиви-

дуальными особенностями функционирования отдельно взятого человека.

Вся эта большая иерархическая лестница, включающая в себя причинно-следственные связи взаимодействия всех вышестоящих организационных уровней, в основе своей имеет физические закономерности эффектов, возникающих на первичных уровнях организации Материи [1; 2].

В этой связи, закономерным является самое широкое применение в медицинской практике электромагнитного поля, характеризующее как свойства вещества, так и его прямого влияния на вещество, с целью изменения свойств последнего.

В первом случае это диагностика, во втором – терапия.

Физические законы электромагнетизма лежат в основе широко применяемых в диагностике: рентгенографии (аналоговой, цифровой), радионуклидной диагностики, однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) (двух и трехдетекторных камер), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), ЯМР, электроэнцефалографии (ЭЭГ), реографии, миографии, ЭКГ, диагностики с применением лазера и других [3; 4].

Несколько в стороне стоят УЗ-диагностика, которая базируется на законах акустики, раздела

механики и диагностика с применением лазера – разделе оптики.

Что касается терапии, то и здесь электромагнитное излучение представлено методами и средствами, использующими в своем арсенале весь спектр частот: от гипервысоких – гамма излучения с частотой 300-3000 ГГц, до крайне низкочастотных, с частотой 3-30 Гц [5].

Сегодня принято классифицировать ЭМИ по виду – фотонное, высокочастотное и непрерывное, низкочастотное. По вызываемым эффектам в веществе – ионизирующее и нет.

Вместе с тем, деление ЭМИ на фотонное и непрерывное условное, поскольку непрерывное, низкочастотное излучение в максимальном приближении представляет собой непрерывную череду квантов, поэтому механизм возникающих эффектов, вне зависимости, квантовое (фотонное) излучение или непрерывное, может быть описан законами квантовой электродинамики [6; 7; 2; 8; 9].

Одно из главных отличий заключается в энергии этих квантов, которые и вызывает большинство из известных эффектов.

В основе разделения ЭМИ на ионизирующее и неионизирующее лежит энергия фотонов, которой достаточно или не достаточно для ионизации атомов вещества с последующим структурным изменением молекул, в том числе сложных органических, в состав которых они входят [10-15].

Самыми важными вопросами для определения клинических возможностей любого лечебного средства является вопрос об объекте его взаимодействия, изменения в котором определяют клинический эффект и дозиметрия этого взаимодействия. Ответ на первый вопрос позволит четко определиться в ожидаемых биологических эффектах, на второй – в степени его выраженности.

Современные представления о механизме биологического действия ЭМИ заключаются в передаче энергии, которая является силой, воздействующей на заряд, точнее, на заряженную частицу [16-18; 5].

Следует отметить, что количественные изменения, происшедшие в массе, веществе, органах, тканях, клетках, зависят от количества переданной (поглощенной) энергии, качественные – определяются изменением функции биологических структур разной иерархической принадлежности.

Все эффекты, возникающие в тканях, зависят от этих составляющих.

Характеризуя биологические эффекты, которые возникают в ответ на взаимодействие ЭМИ каждого диапазона частот, можно отметить, что наиболее полно и научно обосновано изучены дозозависимые эффекты, вызываемые ионизирующим излучением (ИИ).

Считается, что в основе механизма биологического действия радиации лежит ионизация атомов вещества, с которым оно взаимодействует. Изменения, вызываемые воздействием ИИ, происходят на первичном уровне организации материи, которые обуславливают

все остальные известные эффекты радиации: химические, биологические.

Клиническое применение ИИ с лечебной целью можно разделить на две большие группы – используемые при лечении злокачественных новообразований и неопухолевой патологии [19; 5].

Биологические эффекты радиации, применяемые в лучевой терапии злокачественных новообразований описываются механизмом повреждения ДНК, как основной клеточной «мишени», действие ионизирующего излучения, на которую используют достижения фатальных эффектов в клетках злокачественных опухолей. Применяемые для этих целей дозы всегда настолько большие, насколько могут быть, чтобы не вызвать необратимых изменений нормальных тканей.

Вместе с тем, «априори» повреждающее биологическое действие радиации проявляется только в атомарно-субмолекулярном уровне. Уже на субклеточном уровне эти утверждения не могут быть столь категоричными.

Известны эффекты, которые не только не вызывают гибели клеток облученных тканей, но приводят к прямо противоположному. Это малые дозы радиации, применяемые для лечения целого ряда заболеваний неопухолевой природы, радиационная гормезис, сенсбилизация опухоли малыми дозами, явление радиационного антимуtagenеза, эффект стабилизации генома и другие. Многочисленные исследования радиобиологов показали: малые дозы радиации не только не оказывают угнетающего и тем более разрушительного действия на живые системы, но в очень многих случаях даже стимулируют их жизнедеятельность [20-23].

Объяснить действие малых доз можно, если принять во внимание механизмы клеточной и тканевой репарации, которые активируются маловыраженными повреждениями внутриклеточных молекулярных структур.

Таким образом, становится очевидным, что биологические эффекты больших и малых доз радиации противоположны и подчиняются общему биологическому закону Арнда-Шульца, когда первые угнетают, а вторые стимулируют системы, ответственные за гомеостаз [24].

Следующий частотный спектр – ультрафиолетовый, который является «переходным» от ионизирующего излучения к неионизирующему, поскольку вызывает в веществе ионизацию и фотоэффект.

Проникающая способность незначительная, поэтому применяется для наружного облучения в дерматологии в виде местного и общего облучения, а также УФ-облучения крови.

Дозируют УФ-излучение биологическим методом Горбачева-Дакфельдас помощью биодозиметра Горбачева (БД-2). Дозиметрия при внешнем облучении осуществляется на основании технических характеристик излучателей (длина волны и мощность) в называемых эритемных дозах, которые индивидуальны и зависят от множества сопутствующих факторов, и потому такой способ дозиметрии вряд ли можно назвать корректным. Исключенно составляет

фотохимиотерапия заболеваний кожи, где определяют количественные значения поглощенной энергии на площадь облучения (Дж/см²).

УФ-облучение крови проводят без обоснований дозиметрического воздействия. Ограничиваются временем облучения 40-60 минут и количеством процедур на курс [25-27].

Видимая часть спектра – белый, синий, зеленый, красный, инфракрасный – в клинической практике применяется в основном в виде лазерного излучения соответствующей длины волны.

Биологический эффект в тканях возникает в основном за счет фотоэффекта.

В лечебной практике нашли применение главным образом лазеры красного и инфракрасного спектров.

Проникающая способность лазерного излучения зависит от длины волны и колеблется от нескольких микрон для ультрафиолетово-оранжевого диапазона, достигая нескольких сантиметров в ближнем инфракрасном спектре [28-30].

Дозирование при облучении лазерными аппаратами непрерывного красного спектра излучения определяется плотностью потока мощности, выраженной в мВт/см², и временем облучения в минутах, либо плотностью потока энергии, выраженной в Дж/см².

Что касается ЭМИ полосы высокочастотного спектра, то биологические эффекты его применения сегодня в клинической практике характеризуют как «тепловые» для СВЧ, «рефлексогенные» для КВЧ.

Проникающая способность излучения при индуктотермии составляет 6-8 см с последующим теплообразованием.

Дозиметрия при индуктотермии сопряжена со значительными трудностями, связанными с аппаратной базой и неравномерным поглощением излучения тканями. Серийные аппараты для индуктотермии не имеют устройств для объективной дозиметрии, и дозировка при проведении процедур осуществляется в основном по ощущениям больного.

Проникающая способность излучения ДМВ и СМВ диапазона составляет 5-9 см.

Дозиметрия. Воздействия ДМВ и СМВ дозируются по выходной мощности излучателя и по ощущению тепла больным.

КВЧ-излучение мало проникает в ткани, до 500 мкм, т. е. действует на эпидермис, сосочковый и ретикулярный слои кожи, потому биологический эффект связывают с его влиянием на кожные рецепторы и вызыванием рефлекторных ответов.

Дозиметрию проводят, исходя из плотности мощности излучения, тех или иных устройств, которая составляет единицы мВт/см². За основу клинической дозиметрии принимается время облучения того или иного участка тела [28-30].

Электромагнитное излучение сверхнизкой частоты ЭМИ СНЧ в клинике применяют в виде постоянных, переменных, импульсных, бегущих, вращающихся и других. Наиболее широко применяют магнитные индукции от 2 до 50 мТл, и частоты 50-100 Гц.

Проникающая способность в тканях зависит от конструкции аппаратов и дозиметрия основе имеет эмпирические наблюдения и строится на основе значений магнитной индукции излучателя и времени облучения, которые выбираются произвольно, на основании разнородных результатов эмпирических наблюдений [31-35].

Таким образом, несмотря на широкое применение в клинической практике всех известных частотных диапазонов ЭМИ, очевидные недостатки медицинского и методологического характера имеются в каждом из них.

К недостаткам, которые определяются преимущественно физическими свойствами ЭМИ, следует отнести разрушающее действие концентрирующего излучения на клеточные биополимеры, что вызывает гибель массы нормальных клеток облученных областей, а также развитие поздних лучевых повреждений, в том числе связанных с мутациями.

В табл. 1. представлен механизм возникающих эффектов при действии ионизирующего излучения и неионизирующего.

Таблица 1

Механизм действия ЭМИ

Вид ЭМИ	Физический эффект	Биологический	
		Угнетение	Стимуляция
Ионизирующее излучение	Ионизация с изменением (разрушением) структуры клеточных биополимеров – ДНК, РНК, ферментов	За счет разрушения клеточных биополимеров – ДНК, РНК, ферментов и, в результате, – количественной недостаточности репаративных структур	За счет активации репаративных структур, направленной на восстановление повреждений
Неионизирующее излучение	Изменение ориентации и движения заряда, без разрушения структуры клеточных биополимеров – ДНК, РНК, ферментов	За счет прямого влияния на клеточные биополимеры – ДНК, РНК, ферменты, с изменением их пространственной ориентации	То же

Малая проникающая способность и крайне неоднородный характер распределения энергии в тканях – существенный недостаток для всех, кроме СНЧ, неионизирующих излучений, не позволяют облучать патологические очаги, расположенные в глубине тела человека однородным по виду и энергии полем.

В табл. 2 отображены проникающая способность и характер распределения энергии в облучаемых тканях для различных видов ЭМИ.

Как видно, ЭМИ СНЧ имеет не только прекрасную проникающую способность, но и равномерный характер распределения энергии в тканях, на который, что очень важно, не влияет разнородность тканей.

Малая проникающая способность и неравномерный характер распределения энергии в тканях являются одной из основных причин несостоятельности дозиметрии неионизирующих излучений.

В табл. 3 приведено положение дел с дозиметрией и дозозависимыми эффектами по всем применяемым

В табл. 3 приведено положение дел с дозиметрией на практике видам ЭМИ и дозозависимыми эффектами по всем применяемым

Таблица 2

Проникающая способность и характер распределения энергии в тканях у ЭМИ

Вид ЭМИ	Проникающая способность	Характер распределения по глубине	Влияние неоднородности тканей
Ионизирующий	Все тело	Различный, зависит от вида и энергии	Существенное
Ультрафиолетовый	Микроны	Не известен	Не известно
Видимый (свет)	Сантиметры	Не равномерный	Крайне существенно
КВЧ	Микроны	Не известен	Не известно
СВЧ	Сантиметры	Не равномерный	Существенно
СНЧ	Все тело	Равномерный	Нет

Таблица 3

Принципы дозиметрии и вызываемые дозозависимые эффекты электромагнитных излучений

Вид ЭМИ	Дозиметрия			Эффекты	
	Количественная	Эмпирическая (клиническая)	Корректность	Угнетение	Стимуляция
Ионизирующий	Гр (Дж/кг = м ² /с ²)	Поглощенная доза очагом	Достаточная	<1 Гр однократно	<0,5 Гр однократно
Ультрафиолетовый	нет	Эритемная доза Дж/см ² = кг/с ²	Малая, зависит от индивидуальных особенностей	Индивидуально	Индивидуально
Видимый (свет)	нет	Время + количество сеансов Дж/см ² = кг/с ² (для источника)	Малая, зависит от волновых свойств и неравномерности поглощения	Индивидуально-неопределенно	Индивидуально-неопределенно
КВЧ	нет	Время + количество сеансов мВт/см ² (для источника)	Неопределенная	Индивидуально-неопределенно	Индивидуально-неопределенно
СВЧ	нет	Время + количество сеансов Вт (для источника)	Малая, зависит от неравномерности поглощения тканями	Индивидуально-неопределенно	Индивидуально-неопределенно
СНЧ	нет	Время + количество сеансов мТл (для источника) А/м (для ткани)	Неопределенная	Индивидуально-неопределенно	Индивидуально-неопределенно

Таким образом, только дозиметрия ионизирующего излучения строится на количественном принципе. Что касается неионизирующего излучения, то в основу практического применения положен дозиметрический принцип, базирующийся на эффектах эмпирических клинических наблюдений применяемых устройств, конструктивные особенности которых определяются в основном коммерческой целесообразностью.

Резюмируя, следует отметить, что все свойства ЭМИ, вне зависимости от его вида – ионизирующее или нет, описываются физическими законами квантовой электродинамики, а вызываемые биологические эффекты на различных организационных уровнях подчиняются общебиологическому закону.

Вместе с тем, всего два из всех применяемых в клинике частотных диапазонов ЭМИ – верхний диапазон электромагнитного спектра (ионизирующее излучение) и сверхнизкий – ЭМИ СНЧ проникают сквозь все тело человека, что позволяет комфортно использовать их при локализации патологического очага на любой глубине от поверхности тела. Так же, относительно корректно решены вопросы очаговой дозиметрии ионизирующего излучения и в основе его клинического применения лежит дозозависимый принцип.

Сегодня имеются экспериментальные и клинические данные, которые в значительной мере могут расширить

возможности практического применения ионизирующего излучения при лечении злокачественных новообразований, используя стимулирующее действие малых доз, как сенсibilизатора лучевой терапии, а также при лечении неопухоловой патологии, приняв за организационный уровень, на котором происходит биологическая реализация действия малых доз – тканевой.

Что касается ЭМИ СНЧ, то, важным преимуществом перед остальными видами ЭМИ является то, что излучение этого спектра беспрепятственно проходит сквозь тело человека, практически не изменяя своих свойств, и не вызывает ионизации атомов, с разрушением биополимерных молекул. Однако вопросы аппаратного обеспечения и очаговой дозиметрии не разрешены, что не дает оснований для корректного обоснования его применения в клинике.

Разрешение этих вопросов позволит перейти от эмпирического применения на практике к научному.

И главный вывод: уровень взаимодействия ЭМИ с биологическим субстратом организационно первичный, вызываемые биологические эффекты множественны, и поэтому потенциальных клинических возможностей у него несоизмеримо больше, чем у химических и биологических.

ЛІТЕРАТУРА

Альберт Эйнштейн. Собрание научных трудов. / Альберт Эйнштейн; [под ред. И. Е. Тамма, Я. А. Смородинского, Б. Г. Кузнецова]: в 4-х томах. – М.: Наука, 1965-1967.

Алеманов С. Б. Волновая теория строения элементарных частиц. / С. Б. Алеманов – М.: «БИНАР», 2011 г. – 104 с.

Лучевая диагностика / [под ред. Сергеева И. И.]. Мн.: БГМУ, 2007 г.

Лучевая диагностика: учебник. Т.1. [под ред. Труфанова Г. Е.] – М.: Медиа, 2007. – 416 с.: ил.

Ливенсон А. Р. Электромедицинская аппаратура / А. Р. Ливенсон. Мн.: Медицина, 2001. – 344 с.

Кабардин О. Ф. Физика // О. Ф. Кабардин. – М.: Просвещение, 1991. – 367 с.

Савельев И. В. Квантовая механика / И. В. Савельев. – Т. 3. М.: Наука, 1989. – 304 с.

Иродов И. Е. «Электромагнетизм. Основные законы» И. Е. Иродов. – М.: © Бином. Лаборатория знаний. – 2009. – 319 с.

Дирак П. А. М. Лекции по квантовой теории поля / П. А. М. Дирак; [пер. с англ. Б. А. Лысова; под редакцией А. А. Соколова]. – М.: Мир. – 244 с.

Пикаев А. К. Современная радиационная химия. Основные положения. Экспериментальная техника и методы / А. К. Пикаев. – М.: Наука, 1985. – 375 с.

Бяков В. М. Радиониз воды в ядерных реакторах / В. М. Бяков, Ф. Г. Ничипоров. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.

Кудряшов Ю. Б. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения: учебник для ВУЗов / Кудряшов Ю. Б., Перов Ю. Ф., Рубин А. Б. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 184 с.

Ландау Л. Д. Теоретическая физика: Учеб. пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – в 10-ти т. – Т. IV.; В. Б. Берестецкий, Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Квантовая электродинамика / В. Б. Берестецкий, Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. 3-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1989. – 728 с.

Берестецкий В. Б. Квантовая электродинамика / Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. – Издание 4-е, исправленное. – М.: Физматлит, 2002. – 720 с.

Бейтс Д. В. Атомные и молекулярные процессы / Д. В. Бейтс; [под ред. М. Бермана, В. А. Фабриканта]. – М.: Мир 1964. – С. 478.

Яворский Б. М. Основы физики: учебн. – В 2 т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика / Б. М. Яворский, А. А. Пинский; [под ред. Ю. И. Дика]. – 5-е изд., стереотип. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 576 с.

Савельев И. В. Курс физики: учеб. в 3-х т. – Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 304 с.

Ярмоненко С. П. Радиобиология человека и животных / С. П. Ярмоненко, А. А. Вайсзон. – М.: Высшая школа, 2004. – 549 с.

Лучевая терапия: Учеб. Т. 2 / [под ред. Г. Е. Труфанова]. – М.: ГЭОТАР. – Медиа, 2007. – 200 с.: ил.

Кузин А. М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы / А. М. Кузин. – М.: Атомиздат, 1977. – 153 с.

Кузин А. М. Идеи радиационного гормезиса в атомном веке / А. М. Кузин. – М.: Наука, 1997. – 158 с.

Горшкова Т. А. Количественные закономерности проявления адаптивной реакции и радиационного гормезиса у испуляций крожачьих клеток: дисс. канд. биол. наук: 03.00.01, 03.00.16 / Т. А. Горшкова. – Обнинск, 1997. – 154 с.

Ивановский Ю. А. Радиационный гормезис. Благоприятны ли малые дозы ионизирующей радиации? / Ю. А. Ивановский // Вестник ДВО РАН, № 6 (Ноябрь-Декабрь 2006 г.). – С. 86-91.

Занчикова С. И. Возможности индукции адаптивного ответа различными видами радиации в клетках коркового мозга мышей / С. И. Занчикова // Об. науч. трудов «Естественнонаучные и гуманитарные» Т. 2. – № 4, 2005. – С. 50-51.

Демиденко Л. Р. Ультрафиолетовое излучение в медицине. Проблемы использования / Л. Р. Демиденко, О. К. Еремеева. // Системы обработки информации, вып. 6. 2011. – С. 208-215.

Протупинская Д. В. Состояние меланогенеза и иммунные процессы в коже больных витилиго, оценка эффективности терапии ультрафиолетовым излучением диапазона 304-313 нм: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Д. В. Протупинская. – М.: 2009. – 32 с.

Псориаз и псориатический артрит / [В. А. Молочков, В. В. Бадюкин, Б. И. Альбанова, В. А. Волнухин] М.: «КМК, Авторская коллекция», 2007. – 332 с.

Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика. Учебн. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Цотапенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2003. – 560 с.: ил.

Лазеры в клинической медицине: руководство для врачей / [В. П. Беляев, А. С. Федоров, Б. Н. Малышев и др.]; под ред. С. Д. Платнева и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1996. – 428 с.

Ишарионов В. Е. Техника и методики процедур лазерной терапии: справочник / В. Е. Ишарионов. – М.: Лазер маркет, 1994. – 178 с.

Системы комплексной электромагнитотерапии: Учебное пособие для вузов / [под ред. А. М. Беркутова, В. И. Жулева, Г. А. Кураева, Е. М. Прошина] – М.: Лаборатория Базовых знаний, 2000 г. – 376 с.

Новак П. Электромагнитные поля в биологии и медицине / П. Новак. – Днепропетровск: «Пороги», 2004. – 389 с.

Аппараты нового поколения для локальной магнитотерапии и локального теплечения: метод. пособие. – Рязань, РГМУ, 2004 г. – 37 с.

Рыбаков Ю. Л. Биофизические механизмы радиомодифицирующего действия слабого низкочастотного вихревого магнитного поля / Ю. Л. Рыбаков // Медицинская физика, 2007. – № 2. – С. 60-66.

Бинги В. Н. Магнитобиология: эксперименты и модели / В. Н. Бинги. – М.: МИИТА, 2002. – 592 с.

Рецензенты: *Томілін Ю. А.*, д.б.н., професор;
Солодянникова О. І., к.б.н., професор.

Кіхтенко І. М., Хворостенко М. І., 2012

Дата надходження статті до редколегії: 24.04.2012 р.

КІХТЕНКО Ігор Миколайович – д.мед.н., Дніпропетровська державна медична академія, Дніпропетровськ, Україна.

Коло наукових інтересів: радіомедицина.

ХВОРОСТЕНКО Михайло Іванович – д.мед.н., проф., Дніпропетровська державна медична академія, Дніпропетровськ, Україна.

Коло наукових інтересів: радіаційна медицина, медична радіологія, променева терапія.