

5. Dutta, D. C. Textbook of Obstetrics / D. C. Dutta. — New Central Book Agency. — 2001. — 670 p.
6. Ghirardini, G. Use of Balloon Tamponade in Management of Severe Vaginal Postpartum Hemorrhage and Vaginal Hematoma: A Case Series / G. Ghirardini, C. Alboni, M. Mabrouk // Gynecol. Obstet Invest. — 2012. — Vol. 74 (4). — P. 320–323.
7. Vulvar and vaginal hematomas: a retrospective study of conservative versus operative management / G. Benrubi [et al.] // South Med Journ. — 1987. — Vol. 80 (8). — P. 991–994.
8. Zahn, C. M. Vulvovaginal hematomas complicating delivery: rationale for drainage of the hematoma cavity / C. M. Zahn, G. D. V. Hankins, E. R. Yeomans // Journ. Reprod Med Obstet Gynecol. — 1996. — Vol. 41 (8). — P. 569–574.
9. Williams Obstetrics: 23rd Edition / F. G. Cunningham [et al.]. — McGraw-Hill Companies, 2009. — 1404 p.
10. Кулаков, В. И. Акушерский травматизм мягких тканей родовых путей / В. И. Кулаков, Е. А. Бутова. — М.: Мед. информ. агентство, 2003. — 128 с.
11. Акушерство: российское национальное руководство / под ред. Э. К. Айламазян [и др.]. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. — 1200 с.
12. Акушерство: учебник / Г. М. Савельева [и др.]. — Медицина, 2000. — 816 с.
13. Айламазян, Э. К. Акушерство: учебник для медицинских вузов / Э. К. Айламазян. — СпецЛит, 2003. — 528 с.
14. Бодяжина, В. И. Акушерство: учебник / В. И. Бодяжина, К. Н. Жмакин. — М.: Медицина, 1970. — 544 с.
15. Герасимович, Г. И. Акушерство: учеб. пособие / Г. И. Герасимович. — Минск: Беларусь, 2004. — 815 с.
16. Приказ Мин-ва здравоохранения Республики Беларусь № 1182 от 09.10.2012 «Клинические протоколы наблюдения беременных, рожениц, родильниц, диагностики и лечения в акушерстве и гинекологии». — Минск, 2012. — 230 с.
17. Чернуха, Е. А. Родовой блок / Е. А. Чернуха. — М.: Медицина, 1991. — 712 с.

Поступила 30.06.2014

УДК 537.868:620.22:678

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*В. А. Банний, В. А. Игнатенко*

Гомельский государственный медицинский университет

**Цель:** разработка и создание новых поглотителей СВЧ-излучения на полимерной основе; оценка перспектив применения полимерных композитных радиопоглощающих материалов (РПМ) и электромагнитных экранов (ЭМЭ) в решении проблемы электромагнитной экологии и электромагнитной защиты биологических объектов.

**Материалы и методы.** Объектами исследования выбраны монолитные, волокнистые и комбинированные РПМ на основе наполненных термопластов. В качестве наполнителя использованы диэлектрические, магнитные и электропроводящие вещества, различные по природе, форме, размерам и фазовому состоянию. Структура РПМ исследована с применением сканирующего электронного микроскопа.

**Результаты и обсуждение.** Показана эффективность применения полимерных композитных материалов для защиты биологических объектов от воздействия микроволн. Проанализированы возможности создания полимерных РПМ, содержащих биоразлагаемые компоненты, наночастицы, энантиоморфные структуры, капсулированные жидкости, а также РПМ на основе нетканых материалов и полимеров с собственной проводимостью.

**Заключение.** РПМ на основе композитных термопластов и ЭМЭ являются высокоэффективным средством решения проблемы электромагнитной экологии.

**Ключевые слова:** радиопоглощающие материалы, электромагнитные экраны, полимерные композиты, электромагнитная экология.

## THE APPLICATION OF POLYMER RADIOABSORBING MATERIALS TO SOLVE THE PROBLEM OF ELECTROMAGNETIC SAFETY

*V. A. Bannyi, V. A. Ignatenko*

Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

**Objective:** to develop and create new absorbers of microwave radiation on polymer basis; to assess the perspectives of application of polymer composite radioabsorbing materials (RAM) and electromagnetic screens (EMS) for solving of the problem of electromagnetic ecology and electromagnetic protection of biological objects.

**Material and methods.** Monolithic, fibrous and combined RAM based on filled thermoplastics were chosen as subjects of the study. Dielectric, magnetic and electroconducting substances different in nature, shape, size and a phase state were used as a filler. The RAM structure was studied with means of a scanning electronic microscope.

**Results and discussion.** The application of polymer composite materials for protection of biological objects from the effect of microwaves has been shown as efficient. The prospects for creation of polymer RAM, containing biodegradable components, nanoparticles, chiral structures, encapsulated liquids and also as non-woven RAM and polymers with own electroconductive have been analysed.

**Conclusion.** RAM based on polymer composite thermoplastics and EMS are highly effective means for solving the problems of electromagnetic ecology.

**Key words:** radioabsorbing materials, electromagnetic screens, polymer composites, electromagnetic ecology.

### Введение

Научно-технический прогресс определяет социально-экономическое развитие общества и

уровень жизни. Биосфера все интенсивнее преобразуется человеком в его интересах и превращается в техносферу. Проблема воздейст-

вия электромагнитных полей различного диапазона на биологические системы приобретает все большую актуальность. С момента изобретения радио в радиочастотном диапазоне электромагнитное излучение (ЭМИ) нашей планеты возросло на несколько порядков. К естественному фоновому радиоизлучению добавились новые источники электромагнитного загрязнения: сотовая и спутниковая связь, системы навигации и радиолокации, радиотехнические установки, бытовая и медицинская радиотехника и др. В большинстве этих технических систем используется энергия СВЧ-излучения. К СВЧ относят область радиочастот от 3 до 30 ГГц [1]. ЭМИ СВЧ-диапазона применяется в различных областях. В медицине — селективное облучение раковых и доброкачественных опухолей, управление действием противораковых препаратов, нагревание охлажденной крови до температуры человеческого тела перед переливанием, диатермия (излучение на частотах 12, 27, 433, 915 и 2450 МГц) [2]. В бытовой технике — СВЧ-печи для приготовления пищи, работающие на частотах 2,4–2,5 ГГц, типовой мощностью 2 кВт, максимальной — 5,25 кВт; сотовые телефоны; холодильники с СВЧ-размораживателями [3]. В военной технике — радиолокация (полоса частот от 300 МГц до 300 ГГц) [4]; также используется в радионавигации, геологоразведке, астрономии, метеорологии, строительстве и т. п. Человеческий организм не в состоянии адаптироваться к техногенному ЭМИ и не имеет соответствующих адаптационных механизмов. Длительное и регулярное воздействие СВЧ-излучения на организм человека оказывает отрицательное влияние на мозг, сосуды, кровь, лимфатические узлы, зрение, провоцирует образование опухолей. Ясно, что без обеспечения генетически безопасного уровня ЭМИ и при несоблюдении требований санитарно-гигиенических норм безопасности такая техника вредна для здоровья людей [5]. В настоящее время требования электромагнитной безопасности и электромагнитной экологии являются определяющими при создании и внедрении новых технических объектов и технологий.

Существуют различные способы снижения уровня электромагнитного воздействия на биологические объекты. Это — защита расстоянием, то есть удаление от зоны действия ЭМИ; снижение продолжительности воздействия ЭМИ (то есть защита временем); снижение мощности генераторов ЭМИ, а также применение защитных материалов и конструкций — радиопоглощающих материалов (РПМ) и электромагнитных экранов (ЭМЭ) [6]. Широкая номенклатура термопластов, технологичные и высокопроизводительные методы их переработки, удовлетворительные механико-прочностные ха-

рактеристики, приемлемый температурный диапазон использования, а также огромное количество функциональных наполнителей (ФН) и методов формирования композитных РПМ и ЭМЭ на их основе позволяют утверждать, что возможности создания новых композитных РПМ на полимерном связующем не исчерпаны.

### **Цель**

Создание новых поглотителей энергии ЭМИ СВЧ-диапазона на полимерной основе; анализ потенциала применения полимерных композитных РПМ и ЭМЭ в решении проблемы электромагнитной экологии и электромагнитной защиты биологических объектов.

### **Материал и методы**

Объектами исследования выбраны пленочные, листовые и волокнистые нетканые композитные РПМ на основе термопластов: полиэтилена (ПЭ, ГОСТ 16803-070, ТУ 6-05-1866-78, ГОСТ 16337-77), полиэтилена низкого давления (ПЭНД ГОСТ 16338-77), полипропилена (ПП, ГОСТ 26996-86). В качестве ФН использовали магнитные и электропроводящие вещества: дисперсные магнитно-мягкий марганец-цинковый феррит (ММФ, ТУ 6-09-5111-84, марка 2500 НМС), технический углерод; углеродные волокна, углеродные ткани, порошки металлов — карбонильного железа (КЖ, ТУ 6-09-300-78), меди, никеля (ГОСТ 9722-78) и др.; диэлектрические материалы.

Электронно-микроскопические исследования выполнены с применением сканирующего электронного микроскопа Leo 982 производства США.

### **Результаты и обсуждение**

Схема взаимодействия ЭМИ с полимерным композитным ЭМЭ детально изложена в работе [7]. Остановимся лишь на основных аспектах взаимодействия ЭМИ с веществом. Взаимодействие СВЧ-излучения с полимерным материалом, наполненным ФН, различающимся по природе, форме, размерам и распределению в полимерном связующем, определяется совокупностью физических механизмов. Оценка индивидуального вклада этих механизмов в эффективность экранирования необходима при разработке листовых монолитных, волокнистых и комбинированных ЭМЭ. Такой подход позволяет регулировать функциональные возможности полимерных РПМ путем варьирования их рецептурных, структурных и размерных параметров.

Анализ взаимодействия ЭМИ с компонентами полимерного композитного ЭМЭ позволил представить эффективность экранирования как степень ослабления электрической и магнитной составляющих поля падающей на экран ЭМВ. Эффективность экранирования определяется суммой величины поглощения экраном энергии ЭМИ по механизмам магнит-

ных, диэлектрических и джоулевых потерь, ее отражения на границе экрана с атмосферой и рассеяния вследствие многократных внутренних переотражений на межфазных поверхностях композита [6, 7]. Эффективность экранирования зависит от частоты источника излучения, его пространственного расположения по отношению к ЭМЭ, а также от структуры и электрофизических свойств материала экрана. Основной вклад в эффективность экранирования вносит поглощение электромагнитной энергии вследствие присущих РПМ диэлектрических и магнитных потерь, а также перехода ее в другие виды энергии, в частности, в тепловую.

Перспективными являются:

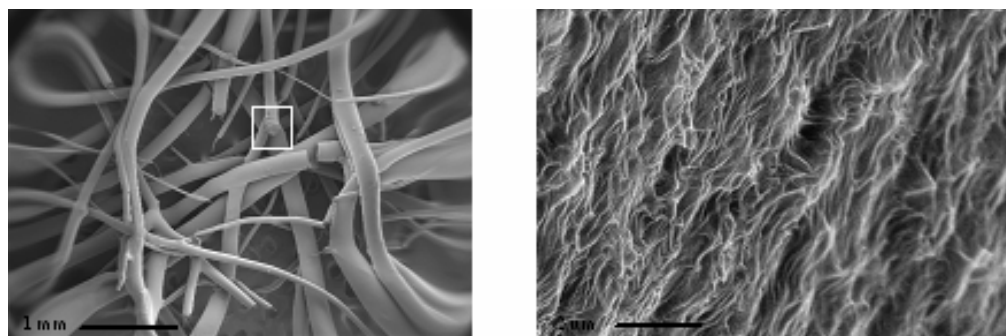
- нетканые волокнистые материалы;
- материалы, содержащие воду или водные растворы солей;
- РПМ на основе биоразлагаемых компонентов природного происхождения;
- энантиоморфные поглощающие среды;
- материалы на основе полимеров с собственной проводимостью [8] и т. д.

*Нетканые волокнистые РПМ.* В [9] разработан оригинальный способ изготовления волокнистых РПМ на основе функционально-наполненных термопластов по технологии пневмораспыления композитного расплава (melt blowing). Он позволяет формировать полотна и формоустойчивые радиопоглощающие элементы. Способ состоит в экструзии гранулированной смеси

полимера и радиопоглощающего наполнителя с последующей вытяжкой волокон газовым потоком и их осаждением на формообразующей подложке в виде нетканой волокнистой массы. В качестве ФН-связующего при производстве волокнистого РПМ использовали порошек ММФ с размером частиц менее 50 мкм.

По описанному способу были изготовлены волокнистые РПМ с постоянным содержанием, а также с градиентом концентрации ФН по толщине полотна. Градиентное распределение частиц наполнителя в РПМ обеспечивает хорошее согласование его волнового сопротивления с воздушным пространством. РПМ этого типа характеризуются повышенной эффективностью радиопоглощения в широком СВЧ-диапазоне при различных углах падения электромагнитной волны (ЭМВ). Melt blowing позволяет вводить в полимерную матрицу в процессе производства волокнистых ЭМЭ армирующие элементы: углеродные или металлические нити, углеродные ткани и металлические сетки различной структуры и электропроводности. Эти операции не требуют дополнительных приемов по скреплению волокон с армирующими элементами.

По данным электронно-микроскопических исследований, нетканые melt-blown РПМ представляют собой совокупность наполненных полимерных волокон, когезионно связанных в местах контакта. Частицы наполнителя (ММФ, Ni, КЖ) закапсулированы внутри волокон (рисунок 1).



**Рисунок 1 — Электронно-микроскопические изображения:**  
**а — melt-blown РПМ состава ПЭ + ММФ (38 % масс); б — поверхность волокон**

Melt-blown РПМ имеют развитую пористую структуру, что увеличивает площадь активной поверхности рассеяния, а также способствует прохождению ЭМВ вглубь экрана. Некоторое поглощение энергии ЭМИ происходит по механизму магнитных потерь из-за наличия частиц ферритового наполнителя, закапсулированных в связующем, имеющем технологически обусловленную фибриллярную структуру. Параметры рассеяния ЭМИ повышаются благодаря большой площади межфазных границ и возможности придавать экранам разнообразную форму,

например, в виде усеченных пирамид, расположенных на плоском листовом основании.

*Водосодержащие РПМ.* Перспективным является использование экранирующих ЭМИ материалов, содержащих воду или водные растворы органических и неорганических соединений (соли, глицерин, спирты и т. п.) [10]. Дистиллированная вода является диэлектриком и может быть выбрана в качестве компонента композитного РПМ.

Способность материала поглощать ЭМИ зависит от его электрических и магнитных свойств.

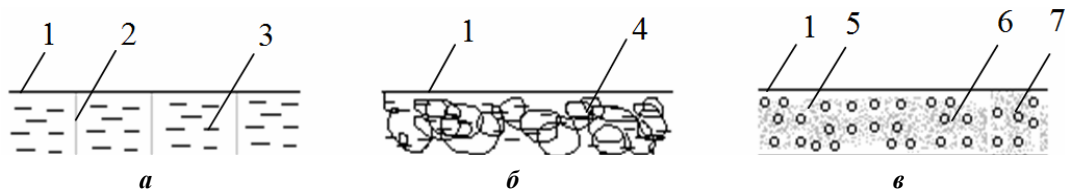
Наиболее информативными характеристиками реакции среды на воздействие внешнего электромагнитного поля являются частотные дисперсии комплексных величин диэлектрической и магнитной проницаемости, а также тангенсов углов диэлектрических и магнитных потерь. Вода является диэлектриком и, соответственно, диэлектрические потери наиболее выражены при взаимодействии ЭМИ с водой. Диэлектрические потери обусловлены инерционностью поляризации компонентов вещества. Они имеют релаксационную природу. Наличие разностей фаз ( $\delta$  и  $\delta_m$ ) приводит к диэлектрическим ( $tg\delta$ ) потерям и в итоге — к поглощению энергии ЭМИ.

Также следует отметить, что защищаемые от ЭМИ биологические объекты являются поглотителями энергии ЭМИ миллиметрового диапазона [11]. Это обусловлено тем, что биологические объекты представлены как гетерогенные многокомпонентные структуры, содержащие связанную и «капсулированную» воду с растворенными в ней минералами. Сложное строение биологических клеток, состоящих из слоистых диэлектрических мембран, клеточной электролитической среды, ядра обуславливает диэлектрические потери энергии ЭМИ и ее интерференционное рассеяние на границах мембран и других структурных неоднородностях. Не менее важным фактором избирательного воздействия СВЧ-излучения на биообъекты является наличие в мембранах клеток и кутикуле радиопогло-

щающего вещества — хитина [11]. Таким образом, сама природа подсказывает нам выбор эффективных и доступных компонентов РПМ.

Примеры конструкций водосодержащих ЭМЭ приведены на рисунке 2. ЭМЭ (рисунок 2 а) состоит из двух пленок, между которыми помещена жидкость. Перегородка 2 между пленками обеспечивает постоянную толщину экрана, препятствуя смыканию пленок. Такая конструкция может быть модифицирована путем помещения в зонах между пленками волокон (рисунок 2 б). Последние, во-первых, выполняют функции перегородок 1 на рисунке 2 а и, во-вторых, могут служить поглотителем ЭМИ или звуковых колебаний. Волокна могут быть полимерными, угольными, ферритонаполненными либо применяться в смесях с металлической проволокой. На рисунке 2 в зазор между пленками заполнен полимерным студнем. Его структура характеризуется наличием полимерной матрицы (которая может быть наполнена функциональным наполнителем) и содержащейся в ней системы пор, заполненных жидкостью.

Такие ЭМЭ реализуют практически все механизмы поглощения ЭМИ. В качестве жидкой фазы могут быть использованы вода, электропроводящие, магнитные, электрореологические жидкости. Изменяя концентрацию солей в воде, температуру воды, частоту ЭМИ можно регулировать радиофизические характеристики водосодержащего композита.



**Рисунок 2 — Структура полимерных ЭМЭ, содержащих жидкую фазу:**  
 а — пленочный ЭМЭ; б — наполненный волокнами; в — ЭМЭ, содержащий студень.  
 1 — полимерная пленка; 2 — перегородка; 3 — жидкость; 4 — волокно; 5 — студень;  
 6 — полимерная матрица; 7 — дисперсионная жидкость

*РПМ, содержащие киральные элементы.* Еще одно из перспективных направлений совершенствования РПМ и ЭМЭ — создание энантиоморфных (киральных) поглощающих сред [12]. В качестве зеркально симметричных структурных модификаций наполнителя в таких ЭМЭ используют металлические или керамические спирали, высота и радиус которых малы по сравнению с длиной ЭМВ, а также металлические частицы сложной формы, в частности, в виде греческой буквы  $\Omega$  — омега, хаотично распределенные в изотропном диэлектрике.

В электромагнитной теории и технике эксперимента важную роль играют металлические спирали (рисунок 3 а), проводящие

электрический ток. Спирали, образованные незамкнутыми кольцами с прямолинейными усиками (рисунок 3 б), направленными перпендикулярно плоскости кольца в разные стороны, называются каноническими. Элементы отличаются направлениями загиба усиков в месте разрыва кольца. Если у первого элемента при движении вдоль проволоки снизу вверх при прохождении кольца совершается правое вращение, то у второго — левое.

Внимание к физике взаимодействия киральных сред с ЭМВ радиодиапазона привело к появлению новых технологий получения киральных РПМ, предназначенных для использования в диапазонах миллиметровых и субмиллиметровых волн.

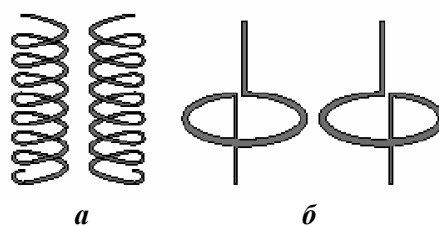


Рисунок 3 — Типы спиральных элементов: а) спираль с правой и левой намоткой; б) каноническая спираль с правым и левым вращением

### Заключение

В зависимости от поставленных задач ЭМЭ могут быть как отражающего типа, так и поглощающего. Преимуществом экранов поглощающего типа является то, что вся энергия ЭМВ, прошедшей в экран, должна поглотиться его материалом и поэтому не происходят паразитные переотражения от поверхности ЭМЭ и не возрастает электромагнитный фон. Экраны поглощающего типа более наукоемки и технологически сложнее в исполнении, чем экраны отражающего типа.

В ближайшие годы перспективы развития РПМ и ЭМЭ связаны с применением полимерных композитных материалов, в матрице которых содержатся:

- наночастицы, обладающие магнитной проницаемостью и электрической проводимостью, параметры которых поддаются регулированию;
- биоразлагаемые компоненты природного происхождения;
- жидкофазные компоненты;
- киральные структуры;
- электропроводящие полимеры, например, полианилин, полипиррол.

Также перспективны нетканые волокнистые РПМ, изготовленные по технологии melt-blowing, обладающие низкой удельной массой, гибкостью, эластичностью, способностью принимать сложную форму. Такие РПМ целесообразно применять в радиоэлектронной и военной промышленности для изготовления радиозащитной одежды, камуфляжных покрытий, элементов строительных конструкций.

Формирование РПМ и ЭМЭ из полимерных композитных материалов привлекает малой удельной массой, технологичностью и относительной дешевизной исходных компонентов.

РПМ на основе термопластов и ЭМЭ являются эффективным средством решения проблемы электромагнитной экологии и защиты биологических объектов от негативного воздействия СВЧ-излучения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физическая энциклопедия: в 5 т. / под ред. А. М. Прохорова. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. — Т. 4. — 704 с.
2. Bittence, J. C. New materials for new appliances / J. C. Bittence // *Materials Engineering*. — 1982. — № 6. — P. 54–60.
3. Композиционные ферромагнетики и электромагнитная безопасность / А. Г. Алексеев [и др.]. — СПб.: НИИХ СПбГУ, 1998. — 296 с.
4. Справочник по радиолокации / под ред. Я. Г. Ицхоки. — М.: Сов. Радио, 1976. — Т. 1. — 456 с.
5. Электромагнитная безопасность человека: справочно-информационное издание / Ю. Г. Григорьев [и др.]. — М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999. — 152 с.
6. Макаревич, А. В. Радиопоглощающие полимерные композиционные материалы в технике СВЧ / А. В. Макаревич, В. А. Банний // *Материалы, технологии, инструменты*. — 1999. — Т. 4, № 3. — С. 24–32.
7. Банний, В. А. Взаимодействие СВЧ-излучения с полимерным композитным электромагнитным экраном: физическое модели и эксперимент / В. А. Банний, В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук // *Материалы, технологии, инструменты*. — 2008. — № 2. — С. 45–51.
8. Lee, C. Y. Electromagnetic interference shielding efficiency of polyaniline mixtures and multilayer films / C. Y. Lee, H. G. Song, K. S. Jang // *Synthetic Metals*. — 1999. — № 102. — P. 1346–1349.
9. Banniy, V. A. Radioabsorbing composite materials based on thermoplastics: production technology and structural optimization principles / V. A. Banniy, A. V. Makarevich, L. S. Pinchuk // *Proc. of 33rd European Microwave Conference (EuMC2003)*. — Munich, Germany, 6–10 Oct. — 2003. — P. 1123–1126.
10. Эффективность несвязанной воды как радиопоглощающего компонента электромагнитных экранов при отрицательных температурах / В. А. Ломач [и др.] // *Материалы, технологии, инструменты*. — 2011. — № 4. — С. 41–41.
11. Банний, В. А. Поглотители микроволновой энергии на основе термопластов и биополимеров / В. А. Банний, В. А. Игнатенко // *Сб. статей междунауч. конф. «Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем»* // Минск, БГУ, 19–21 июня 2012 г. — Минск, 2012. — С. 244–246.
12. Поглотители электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на основе полимерных композитов и киральных структур / Сонгсонг Цянь [и др.] // *Проблемы физики, математики и техники*. — 2014. — № 4 (21). — С. 1–6.

Поступила 21.11.2014

УДК 616.12-008.313-036.88

## СИНДРОМ УДЛИНЕННОГО ИНТЕРВАЛА QT И ЕГО РОЛЬ В ВОЗНИКНОВЕНИИ СЛОЖНЫХ НАРУШЕНИЙ РИТМА СЕРДЦА И ВНЕЗАПНОЙ СМЕРТИ

Л. С. Ковальчук

Гомельский государственный медицинский университет

В статье представлена информация из отечественных и зарубежных источников о значимости синдрома удлинённого интервала QT на электрокардиограмме как предиктора сложных нарушений ритма сердца и