

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-33-41>

УДК 615.462:616-77:678.744.72:544.773.432

КОМПОЗИТНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ РАНЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Е. А. ЦВЕТКОВА¹⁺, В. В. СИЛЬВИСТРОВИЧ², А. А. ЛЫЗИКОВ², С. В. ЗОТОВ¹, Н. С. ВИНДИКТОВА¹

¹Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

²Гомельский государственный медицинский университет, ул. Ланге, 5, 246050, г. Гомель, Беларусь

Одним из активно развивающихся направлений в биоматериаловедении является создание систем направленного действия на основе высокомолекулярных соединений. Анализ опыта создания подобных композиций показал, что большинству из них присущи недостаточная стабильность консистенции, низкая резистентность содержащихся в них функциональных добавок по отношению к протеолитическим микроорганизмам, высокая стоимость сополимерных комплексов сложного химического состава и др.

Цель работы — разработка физиологически активной ранозаживляющей композиции, обладающей высокими сорбирующими свойствами и предназначенной для лечения трофических ран и язв различной этиологии с возможностью длительного использования без ежедневной замены. Выбор компонентов для получения экспериментальных образцов обусловлен критериями их биологической совместимости, отсутствия токсичности и гипоаллергенности, допустимости для контакта с кожным покровом. Разработана формулостойчивая эластичная матрица с многоуровневой структурой и стабильной сорбционной способностью, в которой обеспечено синергическое влияние слабого электрического и магнитного полей на процесс заживления на клеточном уровне. Предложена динамическая схема, в соответствии с которой можно представить комплексное поведение взаимно ассоциированных различными связями компонентов исследуемой композиционной системы и выделяющихся лекарственных веществ на процесс ранозаживления под управлением магнитно-поляризационных механизмов. Модель построена на наиболее вероятных механизмах физико-химического взаимодействия биологически активных веществ между собой и с раневой поверхностью под синергическим действием слабых физических полей — электрического и магнитного. Проведена клиническая оценка эффективности раневого покрытия пролонгированного действия. Установлено, что сроки заживления язв у лабораторных животных значительно сокращаются по сравнению с контрольной группой. Композитное покрытие является эффективным при лечении трофических язв сосудистой этиологии на фоне сахарного диабета. Такой композит, по-видимому, будет эффективен для лечения мокнущих ран. Ранозаживляющий композитный материал с формулостойчивой эластичной матрицей обладает возможностью длительного использования без ежедневной замены. Разработанные композиции могут найти применение в производстве изделий медицинского назначения, в частности, средств лечения ран различной этиологии, ожогов, гнойно-трофических язв и абсцессов.

Ключевые слова: криогель, коллоидная система, сорбция, кинетика выделения, хитозан, поливиниловый спирт, аминокислота, лекарственное вещество.

COMPOSITE COATING FOR WOUND SURFACES

E. A. TSVETKOVA¹⁺, V. I. SILVISTROVICH², A. A. LYZIKOV², S. V. ZOTOV¹, N. S. VINIDIKTOVA¹

¹V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

²Gomel State Medical University, Lange St., 5, 246050, Gomel, Belarus

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: : tsvetkovaea21@mail.ru

One of the actively developing areas in biomaterials science is the creation of targeted systems based on macromolecular compounds. An analysis of the experience of creating such compositions showed that most of them are characterized by insufficient consistency stability, low resistance of the functional additives contained in them to proteolytic microorganisms, high cost of copolymer coordination complexes with chemical complex composition, etc.

The aim of the work is to develop a physiologically active wound-healing composition with high sorption properties and intended for the treatment of trophic wounds and ulcers of various etiologies with the possibility of long-term use without daily replacement. The choice of components for obtaining experimental samples is determined by the criteria of their biological compatibility, lack of toxicity and hypoallergenicity, and acceptability for contact with skin. A shape-stable elastic matrix with a multi-level structure and stable sorption capacity has been developed in which a synergistic effect of weak electric and magnetic fields on the healing process at the cellular level is ensured. A dynamic scheme has been proposed according to which it is possible to represent the complex behavior of components of the studied composite system mutually associated with various bonds and released medicinal substances on the wound healing process under the control of magnetic polarization mechanisms. The model is based on the most probable mechanisms of physical and chemical interaction of biologically active substances with each other and with the wound surface under the synergistic action of weak electric and magnetic fields. A clinical evaluation of the effectiveness of wound dressing with pro-longed action was carried out. It has been established that the healing time of ulcers in laboratory animals is significantly reduced compared to the control group. Composite coating is effective at the treatment of trophic ulcers of vascular etiology against the background of diabetes mellitus. It probably the such composite would be effective in the treatment of oozing wounds. A wound healing composite material with a shape-stable elastic matrix has the possibility of long-term use without daily re-placement. The developed compositions can be used at the production of medical products in particular at treatment of wounds of various etiologies, burns, purulent-trophic ulcers and abscesses.

Keywords: cryogel, colloid system, sorption, release kinetics, chitosan, polyvinyl alcohol, amino acid, medicinal substance.

Поступила в редакцию 12.08.2022

© Е. А. Цветкова, В. В. Сильвистрович, А. А. Лызиков, С. В. Зотов, Н. С. Винидиктова, 2022

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Цветкова Е. А., Сильвистрович В. В., Лызиков А. А., Зотов С. В., Винидиктова Н. С. Композитное покрытие для раневых поверхностей // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 3. С. 33–41. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-33-41>

Citation sample:

Tsvetkova E. A., Sil'vistrovich V. V., Lyzikov A. A., Zotov S. V., Vinidiktova N. S. Kompozitnoe pokrytie dlya ranevykh poverkhnostey [Composite coating for wound surfaces]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 3, pp. 33–41. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-33-41>

Литература

1. Цветкова Е. А., Ухарцева И. Ю. Аспекты применения высокомолекулярных соединений направленного биологического действия (обзор) // Пластические массы. 2012. № 9. С. 45–51.

2. Кнорре Д. Г., Мызина С. Д. Биологическая химия : учеб. для хим., биол. и мед. спец. вузов. 2-е изд., переб. и доп. М. : Высшая школа, 1998. 479 с.
3. Клей для медицинских изделий и пластырей // ZELLSTOFF-M. 2022 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zellstoff-m.ru/klei/klej-dlja-medicinskih-plastyrej/> (дата обращения: 7.07.2022).
4. Патент 2254145 РФ, МПК А L15/28, 15/32, 26/00. Раневое покрытие на основе коллаген-хитозанового комплекса / И. Н. Большаков, Н. С. Горбунов, Е. С. Шамова, Е. С. Еремеев, А. Г. Сизых, Е. В. Сурков, С. М. Насибов, В. П. Малый, Н. А. Сетков; патентообладатель Красноярская государственная медицинская академия Министерства здравоохранения Российской Федерации. № 2003130390/15; заявл. 14.10.2003; опубл. 20.06.2005.
5. Патент 2328313 РФ, МПК А61L 15/22, А61L 15/44. Макропористый гелевый материал и изделия на его основе / А. А. Артюхов, М. И. Штильман, П. С. Восканян, А. Тсатсакис; патентообладатели: ООО «Научно-производственный центр “Амфион”», Артюхов А. А., Штильман М. И. № 2006125842/15; заявл. 19.07.2006; опубл. 10.07.2008.
6. Цветкова Е. А., Ухарцева И. Ю., Сильвистрович В. И., Кадолич Ж. В. Бактерицидный криогель // Полимерные композиты и трибология (Поликонтриб-2022) : тезисы докладов международной научно-технической конференции, Гомель, 28–30 июня 2022 г. Гомель, 2022, С. 103.
7. Лучейкин Г. А. Полимерные электреты. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Химия, 1984. 184 с.
8. ГОСТ 25209-1982. Пластмассы и пленки полимерные. Методы определения поверхностных зарядов электретов. Введ. 1982-04-08. М. : Издательство стандартов. 1982. 12 с.
9. Варфоломеев С. Д., Гуревич К. Г. Биокинетика : практический курс. М. : Гранд : Фаир-пресс, 1999. 716 с.
10. Патент 15555 РБ, МПК С 08J 3/075. Способ изготовления криогеля поливинилового спирта / П. И. Бондаренко, Л. С. Пинчук, Е. А. Цветкова, В. А. Гольдаде, А. М. Дворник; патентообладатель ИММС НАНБ. № a20100310; заявл. 04.03.2010; опубл. 28.02.2012.
11. Рычков Ю. Г., Шапошников Ю. Г., Решетников Е. А., Кондратьева И. Е., Жукова О. В. Физиологическая генетика человека в проблеме заживления ран. М. : Наука, 1985. 183 с.
12. Толстикова Т. Г., Воевода Т. В., Масычева В. И., Даниленко Е. Д., Федосова Л. К., Василенко С. К., Маев С. П. Модифицированный хитозан как стимулятор репаративной регенерации кожи // Доклады Академии наук. 1996. Т. 350, № 4. С. 557–559.
13. Зильберглейт М. А., Мархель В. П., Лобан Т. А., Маевская О. И., Масленников В. В., Жданович О. Н. Хитозан – успехи и проблемы коммерциализации // Полимерные материалы и технологии. 2019. Т. 5, № 1. С. 6–15. doi: 10.32864/polymmattech-2019-5-1-6-15
14. Горбачева И. Н., Смотрина Т. В., Смирнов А. К., Вихорева Г. А., Грунин Ю. Б., Акопова Т. А. Свойства полимерных композиций на основе полисахаридов и их получение в условиях твердофазного деформирования под давлением // Химические волокна. 2003. № 1. С. 18–23.
15. Камская В. Е. Хитозан: структура, свойства и использование // Научное обозрение. Биологические науки. 2016. № 6. С. 36–42.
16. Сильвистрович В. И., Лычиков А. А., Каплан М. Л., Ярец Ю. И. Бактериологический профиль ран пациентов с нейроишемической формой синдрома диабетической стопы // Проблемы здоровья и экологии. 2020. № 1. С. 45–50.
17. Сильвистрович В. И., Лычиков А. А. Результаты применения композиционных гидрогелевых покрытий на основе поливинилового спирта в эксперименте // Современные технологии в медицинском образовании : материалы международной научно-практической конф., Минск, 1–5 ноября 2021. Минск : БГМУ, 2021. С. 481–484.
18. Цветкова Е. А., Гольдаде В. А., Ухарцева И. Ю., Зотов С. В., Кадолич Ж. В., Сильвистрович В. И., Кикинева Е. Г. Полимерные композиционные материалы с магнитными наполнителями (обзор) // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 12. С. 27–37.

References

1. Tsvetkova E. A., Ukhartseva I. Yu. Aspekty primeneniya vyso-komolekulyarnykh soedineniy napravlenogo biologicheskogo deystviya (obzor) [Aspects of the use of macromolecular compounds of targeted biological action (review)]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2012, no. 9, pp. 45–51.
2. Knorre D. G., Myzina S. D. *Biologicheskaya khimiya* [Biological chemistry]. Moscow : Vysshaya shkola Publ., 1998. 479 p.
3. Kley dlya meditsinskih izdeliy i plastyrej [Glue for medical devices and plasters]. Available at: <http://www.zellstoff-m.ru/klei/klej-dlja-medicinskih-plastyrej/> (accessed 7.07.2022).
4. Bol'shakov I. N., Gorbunov N. S., Shamova E. S., Eremeev E. S., Sizykh A. G., Surkov E. V., Nasibov S. M., Malyy V. P., Setkov N. A. Raneevoe pokrytie na osnove kollagen-khitozanovogo kompleksa [Wound coating based on collagen-chitosan complex]. Patent RF, no. 2254145, 2005.
5. Artyukhov A. A., Shtil'man M. I., Voskanyan P. S., Tsatsakis A. Makroporistyiy gelevyy material i izdeliya na ego osnove [Macroporous gel material and products based on it]. Patent RF, no. 2328313, 2008.
6. Tsvetkova E. A., Ukhartseva I. Yu., Sil'vistrovich V. I., Ka-dolich Zh. V. Bakteritsidnyy kriogel' [Bactericidal cryogel]. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Polimernye kompozity i tribologiya» (Polikomtrib-2022)* [Abstracts of the international scientific and technical conference “Polymer composites and tribology” (Polycomtrib-2022)]. Gomel', 2022, pp. 103.
7. Lushcheykin G. A. *Polimernye elektrety* [Polymer electretes]. Moscow : Khimiya Publ., 1984. 184 p.
8. GOST 25209-1982. Plastmassy i plenki polimernye. Metody opredeleniya poverkhnostnykh zaryadov elektretov [State Standard 25209-1982. Plastics and polymer films. Methods for determining the surface charges of electretes]. Moscow : Izdatel'stvo standartov Publ., 1982. 12 p.
9. Varfolomeev S. D., Gurevich K. G. *Biokinetika* [Biokinetics]. Moscow : Grand Publ. : Fair-press Publ., 1999. 716 p.
10. Bondarenko P. I., Pinchuk L. S., Tsvetkova E. A., Gol'dade V. A., Dvornik A. M. Sposob izgotovleniya kriogelya polivinilovogo spirta [Method of manufacturing cryogel of polyvinyl alcohol]. Patent BY, no. 15555, 2012.
11. Ryckhov Yu. G., Shaposhnikov Yu. G., Reshetnikov E. A., Kon-drat'eva I. E., Zhukova O. V. *Fiziologicheskaya genetika che-loveka v probleme zashivleniya ran* [Human physiological genetics in the problem of wound healing]. Moscow : Nauka Publ., 1985. 183 p.
12. Tolstikova T. G., Voevoda T. V., Masycheva V. I., Danilenko E. D., Fedosova L. K., Vasilenko S. K., Maev S. P. Mo-difitsirovannyi khitozan kak stimulyator reпаратivnoy re-generatsii kozhi [Modified chitosan as a stimulator of reparative regeneration of the skin]. *Doklady Akademii nauk* [Proceedings of the Academy of Sciences, 1996, vol. 350, no. 4, pp. 557–559].
13. Zil'bergleyt M. A., Markhel' V. P., Loban T. A., Maevskaya O. I., Maslennikov V. V., Zhdanovich O. N. Khitozan – uspekhi i problemy kommertsializatsii [Chitosan – successes and problems of commercialization]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2019, vol. 5, no. 1, pp. 6–15. doi: 10.32864/polymmattech-2019-5-1-6-15
14. Gorbacheva I. N., Smotrina T. V., Sмирнов А. К., Vikhoreva G. A., Grunin Yu. B., Akopova T. A. Svoystva polimernykh kompozitsiy na osnove polisakharidov i ikh poluchenie v usloviyakh tverdogaznogo deformirovaniya pod davleniem [Polymer composition properties based on polysaccharides and their production in terms of solid-phase deformation under pressure]. *Khimicheskie volokna* [Fibre Chemistry], 2003, no. 1, pp. 18–23.
15. Kamskaya V. E. Khitozan: struktura, svoystva i ispol'zovanie [Chitosan: structure, properties and use]. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie*

- nauki* [Scientific Review. Biological Sciences], 2016, no. 6, pp. 36–42.
16. Sil'vistrovich V. I., Lyzikov A. A., Kaplan M. L., Yarets Yu. I. Bakteriologicheskiy profil' ran patsientov s neuroischemicheskoy formoy sindroma diabeticheskoy stopy [Bacteriological profile of wounds in patients with neuroischemic form of diabetic foot syndrome]. *Problemy zdorov'ya i ekologii* [Problems of health and ecology], 2020, no. 1, pp. 45–50.
 17. Sil'vistrovich V. I., Lyzikov A. A. Rezul'taty primeneniya kompozitnykh gidrogelevykh pokrytiy na osnove polivinilovogo spirta v eksperimente [Results of the use of composite hydrogel coatings based on polyvinyl alcohol in the experiment]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy. konf. «Sovremennye tekhnologii v meditsinskom obrazovanii»* [Proceedings of international scientific and practical conference “Modern technologies in medical education”]. Minsk : BGMU Publ., 2021, pp. 481–484.
 18. Tsvetkova E. A., Gol'dade V. A., Ukhartseva I. Yu., Zotov S. V., Kadolich Zh. V., Sil'vistrovich V. I., Kikineva E. G. Polimernye kompozitsionnye materialy s magnitnymi napolnitelyami (obzor) [Polymer composite materials with magnetic fillers (review)]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2020, vol. 23, no. 12, pp. 27–37.
-