

АНАЛІЗ ТРАНСФЕРУ РІДИНИ В БАГАТОШАРОВИХ ПЕРЕВ'ЯЗОЧНИХ ЗАСОБАХ

Розглянуті процеси трансферу рідини в багатошарових перев'язочних засобах. Проведений аналіз вимог. Визначений механізм проходження рідини. Показано, що визначальним для вимог постійного подавання терапевтичної рідини до шкіри є відповідність кінетики зміни концентрації у другому матеріалі визначеним правилам для максимального часу і часу, що відповідає максимуму на кривій поглинання. Наведені приклади визначення параметрів для двошарових композицій.

Ключові слова: трансфер рідини, текстильні матеріали, багатошарові, перев'язочні засоби.

H.V. SHUTSKA, N.P. SUPRUN

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF FLUID TRANSFER IN MULTILAYER BANDAGING MATERIALS

The aim of this is the analysis of fluid transfer through the two-layer composition to develop practical recommendations on the selection of materials for wound coverings that provide specified medical characteristics. The processes of transfer fluid in multilayer bandaging material were investigated. The analysis of requirements was held. The mechanism of passage of the liquid is defined. It is shown that the requirements for determining continuous supply of therapeutic fluid to the skin is compliance of kinetics of change of concentration in the second material that defined rules to maximize time and time corresponding to the maximum absorption of the curve. Examples of determining the parameters for dual-layer compositions were showed. The results allow to recommend materials for a given therapeutic properties, including contact recommend a porous material structures with desired diameters and distances between pores.

Keywords: transfer fluid, textiles, laminated, dressing tools.

Вступ

Відомо, що кількість людей, які під час проведення бойових дій та у надзвичайних ситуаціях втрачають життя в результаті поранень та ускладнень, ними викликаних, є набагато більшою, ніж тих, хто гине від руйнівних факторів. Своєчасне зупинення кровотечі, обробка відкритих ран антимікробними речовинами, закриття поверхні обпеченої шкіри, зняття болю та набряку, а також інші заходи в екстрених ситуаціях допомагають зберегти життя і мінімізувати інвалідуючі наслідки травм. Першим засобом допомоги в таких ситуаціях на протязі всієї історії людства були і залишаються ранові покриття, що обумовлено доступністю і простотою їх застосування в різних умовах. Протягом багатьох століть пов'язки застосовувалися головним чином для зупинки кровотечі та захисту рани [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Не зважаючи на те, що у лікуванні ран різної етіології медичні пов'язки зберігають пріоритетне значення, [2–4], використання традиційних перев'язувальних засобів в останні роки стає все менш ефективним. Пов'язано це з тим, що дія багатьох з них не відповідає вимогам, які висуваються сучасною медициною. Однією з причин, що знижують ефективність ранових пов'язок, є односпрямованість їх дії в рані – тільки сорбційна, антимікробна, протеолітична і т.д. Цей недолік може бути подоланий шляхом створення ранових покриттів комплексної дії, що мають одночасно декілька властивостей [2, 4]. Із поглибленням знань в області патогенезу ранового процесу з'явилася можливість наукового обґрунтування вимог до лікарських засобів і покриттів, які використовуються для лікування ран. Цьому ж сприяють зрослі можливості фармації в області технології лікарських форм і засобів. В даний час завдяки досягненням науки з'явилися нові можливості цілеспрямованого і диференційованого використання властивостей сучасних перев'язувальних засобів на різних етапах процесу ранового загоєння [5]. У світовій практиці поширюється використання ранових пов'язок з пролонгованою лікувальною та антимікробною дією. Питання випуску ранових пов'язок нового покоління знаходяться в центрі уваги провідних фірм-виробників всіх розвинених країн світу. Фактично це композиції, побудовані як мінімум, з трьох складових: текстильної основи, полімерного шару і лікарського препарату.

В дизайні ранових покриттів активно використовується принцип багатошаровості. При цьому комбінуються полімерні матеріали різної хімічної природи і фізичної форми, оскільки це дозволяє в повній мірі використовувати їх властивості. Зазвичай прилеглий до рани шар є атравматичним, він забезпечує максимальний відтік виділень і утримування його в шарі сорбенту. Найпростішим варіантом таких засобів є пов'язки, що представляють собою комплект матеріалів, де перший шар - поліефірна сітка або медична марля, а сорбційний – неткане полотно.

Перспективна галузь використання подібних матеріалів – це текстильні трансдермальні терапевтичні системи, у яких лікарські препарати проходять до рани відповідно до необхідної кінетики.

На жаль у досліджених джерелах знайдені тільки загальні рекомендації по вибору матеріалів для забезпечення роботи ранових покриттів [6, 7].

Аналітичні роботи щодо проходження рідини крізь текстильні матеріали [8, 9] не розглядають особливостей матеріалів для ранових покриттів і не враховують специфічні вимоги до них. Експериментальні

роботи по визначенню сорбційних характеристик [10, 11] не завжди дають змогу передбачити реальні характеристики композицій.

Мета даної роботи – на основі аналізу трансферу рідини крізь двошарові композиції розробити практичні рекомендації по вибору матеріалів для ранових покрив, що забезпечують задані медичні характеристики.

Моделювання проходження рідини в двошаровому текстильному матеріалі

Розглянемо схему сучасного текстильного матеріалу для терапевтичних ранових покрив [12]. Він складається з текстильного матеріалу, плівки, що контролює інтенсивність проходження лікарського препарату (рис. 1).

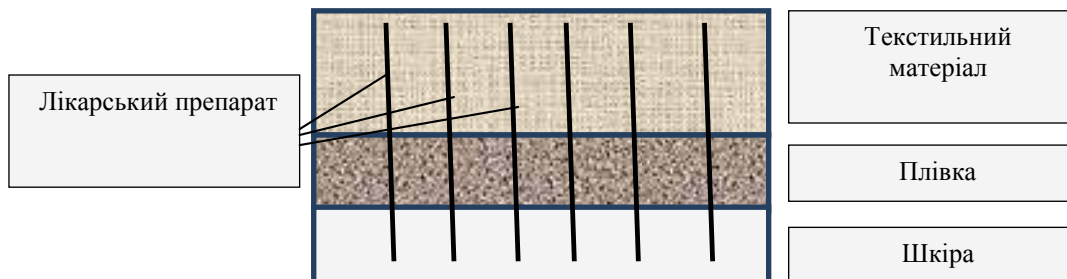


Рис. 1. Структура текстильного матеріалу для ранових покрив

Інтенсивність проходження рідини крізь текстильний матеріал характеризується зміною концентрації рідини в матеріалі і визначається залежностями, наведеними в [13]. Типова залежність зміни концентрації від часу має вигляд

$$u = 1 - e^{-\alpha t^\beta}, \quad (1)$$

Де $\tau = \frac{t}{t_0}$, $\alpha = \frac{\beta - 1}{\beta}$, $\beta = 1 + 5,05 \cdot \left(\frac{t_0}{t_m}\right)^{-1,45}$, t – поточний час, t_m – час повного накопичення матеріалу

вологою, t_0 – час, що відповідає максимуму на кривій накопичення. При цьому останні дві параметри визначаються з експериментів і можуть розглядатися, як константи матеріалу. Тут і надалі будемо мати на увазі безрозмірну концентрацію, тобто її відношення до максимальної. На рис. 2 відображені основні етапи трансферу рідини крізь перший шар матеріалу. На рис. 2,а відображений етап накопичення рідини крізь матеріал, рис. 2,б характеризує процес проходження матеріалу з врахуванням збільшення концентрації рідини на внутрішній поверхні, рис. 2,в. демонструє повне накопичення рідини в матеріалі, коли концентрація досягає одиниці, рис. 2,г. відображає процес поступового зниження концентрації в матеріалі.

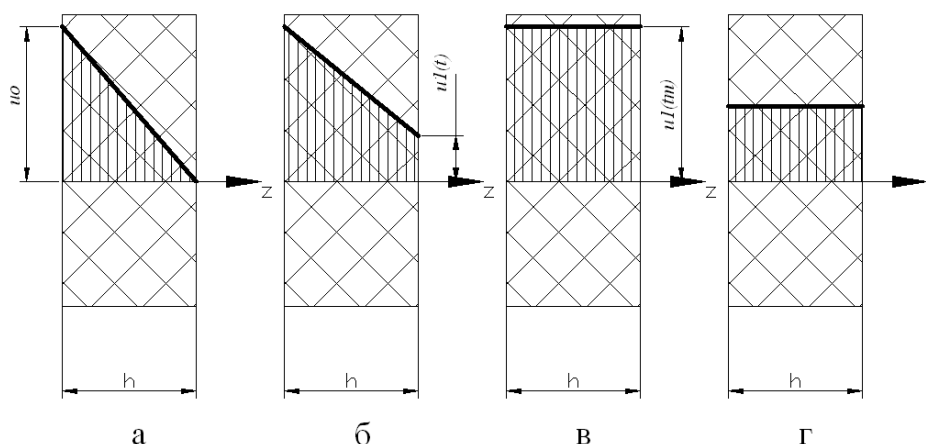


Рис. 2. Схема динаміки зміни концентрації рідини в текстильному матеріалі:

а – проходження рідини матеріалом, виділення на внутрішній поверхні відсутнє, б – продовження накопичення, зростання концентрації рідини на внутрішній поверхні, в – повне накопичення рідини в матеріалі, коли концентрація досягає одиниці, г – зменшення концентрації при видаленні рідини з внутрішньої поверхні.

Для схем (а) і (б) зміну концентрації на зовнішній поверхні можна визначити, як площу трапеції, враховуючи, що концентрація на зовнішній поверхні залишається в процесі накопичення постійною $u_0=1$. Тоді можна записати, враховуючи (1).

$$\frac{u_0 + u_1}{2} = u,$$

$$\text{Звідки } u_1 = 1 - 2 \cdot e^{-\alpha \left(\frac{t}{t_m}\right)^\beta}$$

Даний процес представлений на рис. 3, де зображена залежність концентрації на внутрішній поверхні матеріалу від часу

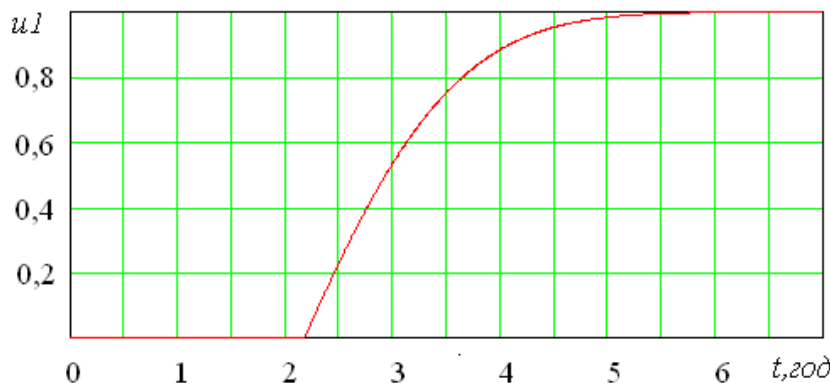


Рис. 3. Концентрація рідини на границі першого і другого матеріалів

Час початку проникнення рідини у другий матеріал може бути знайдений як

$$t = t_m \left(\frac{\ln 2}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

В подальшому будемо вважати цей час початком роботи, тобто криву рис. 3 перемістимо ліворуч на відповідну відстань.

Обґрунтування вимог до внутрішнього матеріалу перев'язочних засобів

При визначенні динаміки проходження рідини крізь двошаровий матеріал, необхідно враховувати ефекти при трансфері крізь перший за порядком матеріал. При цьому можуть виникати наступні варіанти трансферу (рис. 4). При зростанні концентрації рідини на границі двох матеріалів за рахунок накопичення рідини в першому матеріалі (на рисунку розташований ліворуч) відповідно зростає концентрація в другому матеріалі, при цьому лікувальна рідина доходить до контакту з тілом (права границя) (рис. 4,а). На цьому етапі другий матеріал повинен забезпечити якнайшвидший трансфер терапевтичної рідини до тіла. При повному наповненні першого матеріалу продовжується трансфер терапевтичної суміші крізь другий матеріал (рис. 4, б). Бажано цей трансфер зробити керованим. Під керуванням цього процесу будемо розуміти незмінність концентрації рідини на внутрішньому контактному шарі. У загальному випадку можлива зміна цієї концентрації за законом, що відповідає оптимальним режимам лікування. У випадку вимоги постійної концентрації, на другому (рис. 4,б) етапі проходження рідини другий шар повинен виступати у якості гальма швидкого трансферу рідини до тіла пацієнта. Третій етап (рис. 4,в) характеризується поступовим зниженням концентрації рідини в першому матеріалі з врахуванням виходу рідини на границі з тілом. Інтенсивність трансферу на цьому етапі повинна поступово знижуватись, забезпечуючи постійність концентрації на межі тіла u_k .

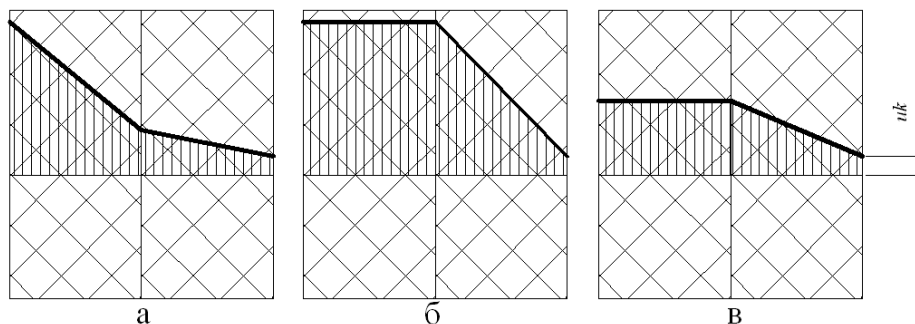


Рис. 4/ Бажана динаміка трансферу рідини крізь другий матеріал

Враховуючи рис. 4 бажану характеристику другого матеріалу можна записати так

$$\frac{u_k + u_1}{2} = u_2$$

Якщо переписати даний вираз у припущеннях, надати умову рівності нулю припущенню на внутрішній поверхні (виконуючи умови постійності концентрації на поверхні шкіри), можна одержати

бажану залежність, що характеризує інтенсивність проникнення рідини крізь другий матеріал (рис. 5).

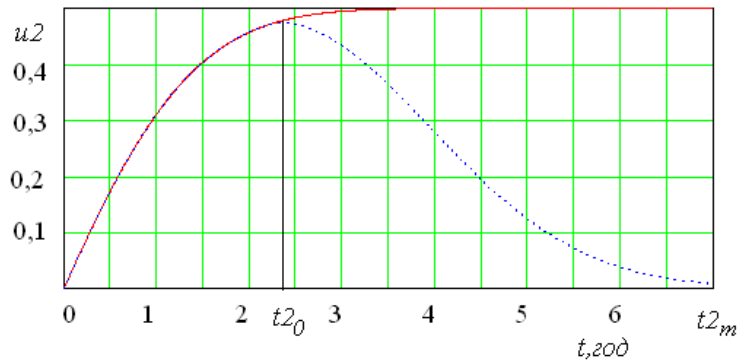


Рис. 5. Бажана діаграма зміни концентрації у другому матеріалі

Одержана залежність дає підстави для визначення двох констант матеріалу, що забезпечують постійне проходження рідини з заданою концентрацією на протязі заданого часу.

Врахуємо далі, що досліджуваний матеріал є у багатьох випадках мікропористим матеріалом, що характеризується середньою густиною і номінальною густиною матеріалу з середнім діаметром пор, що дорівнюють D , середньою відстанню між порами S (рис. 6).

Насправді пори можуть мати різну форму, величину і розташування. Від пористості матеріалу залежить величина рідино проникливості.

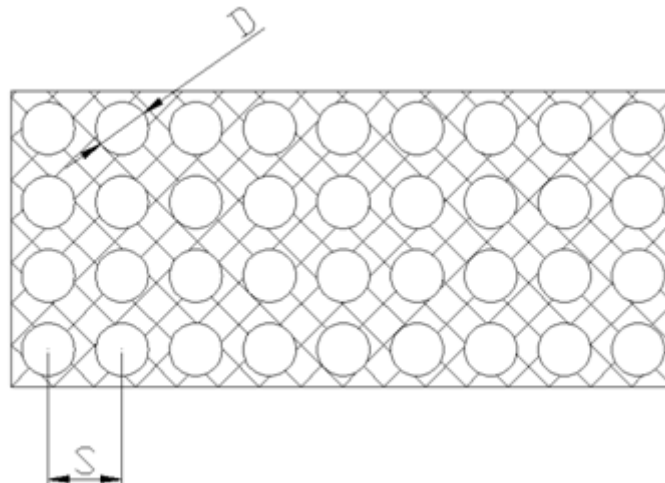


Рис. 6. Схема розташування пор в матеріалі

Треба враховувати, що при збільшенні діаметру пор збільшується швидкість трансферу рідини, відповідно зменшується ефект гальмування, при цьому загальний час трансферу, означений на рис. 5 через t_{2m} , буде знижуватись. Варіація діаметру пор і складу матеріалу може забезпечити необхідне значення цього параметру. Збільшення відстані між порами збільшує також і ефект гальмування трансферу рідини і, відповідно, розташування максимуму t_{20} на кривій рис. 5. Таким чином, врахування діаметру пор, відстані між ними, складу матеріалу дозволяє підібрати матеріал, для якого реальна характеристика трансферу рідини наближується до необхідної для терапевтичних цілей рис. 5.

Наведені результати дозволяють рекомендувати матеріали для забезпечення заданих терапевтичних властивостей, зокрема рекомендувати контактні матеріалу вигляді пористих структур з заданими діаметрами і відстанями між порами.

Висновки

В роботі проведений аналіз трансферу рідини крізь двошарові текстильні композиції, призначені для терапевтичних цілей. Побудовані залежності проходження рідини крізь перший текстильний матеріал дозволили сформулювати вимоги до контактної пористої структури, яким проходить лікувальна рідина. У якості критерію ефективності роботи двошарового терапевтичного матеріалу вибрана постійність концентрації на контактному шарі матеріалу у заданий проміжок часу. Запропонована функція трансферу рідини для забезпечення цього критерію. Розробили практичні рекомендації по вибору матеріалів для ранових покриттів, що забезпечують дану функцію.

Література

1. Bishop W.J. A history of surgical dressings / W.J. Bishop. – Chesterfield : Robinson & Sons Ltd, 1959.
2. Назаренко, Г. И. Рана. Повязка. Большой. Современные медицинские технологии / Г. И. Назаренко, И. Ю. Сугурова, С. П. Глянцев. – М. : Медицина, 2002. – 472 с.
3. Светухин А.М. Гнойная хирургия: современное состояние проблемы / А.М. Светухин, Ю.А. Амирасланов. – М. : Медиа Медика, 2003. – 194 с.
4. Хирургия / гл. ред. Ю. М. Лопухин, В. С. Савельев ; пер. с англ., доп. – М. : ГЭОТАР Медицина, 1997. – 1070 с
5. Теория и практика местного лечения гнойных ран / под ред. Б.М. Даценко. – Киев : Здоров'я, 1995. – 383 с.
6. Wound healing dressings and drug delivery systems: a review / Joshua S. Boateng [et al.] // Journal of pharmaceutical sciences. – 2008. – V. 97, № 8. – P. 2892–2923.
7. Разработка новых биологически активных перевязочных средств и методология их применения [Электронный ресурс] /А. А. Адамян [и др.] // Хирургия. Журнал им. Н.И.Пирогова. – 2004. – № 12. – Режим доступа : <http://www.mediasphera.ru/journals/pirogov/detail/223/3233/.ru>.
8. Suprun, N. P. Modeling of mass transfer processes in textiles / N. P. Suprun // Vlakna a textil. – 2001. – Vol. 2. – P. 125.
9. Рябчиков, М. Л. Нестационарная модель водовбирания текстильными материалами по толщине / М. Л. Рябчиков, В. И. Власенко, С. И. Ковтун // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 2 (132). – С. 325–334.
10. Das B., Das A., Kothari V.K., Fanguiero R., Araújo M.D. “Moisture Transmission Through Textiles, Part I: Processes involved in moisture transmission and the factors at play”, AUTEX Research Journal, 7/2, 2007, P. 100–110.
11. Kim J.O. “Dynamic moisture vapor transfer through textiles, Part III: Effect of film characteristics on micro climate moisture and temperature”, Textile Research Journal, 69 /3, 1999, P. 193–202.
12. Biomaterials based on chitin and chitosan in wound dressing applications / R. Jayakumar [et al.] // Biotechnol Adv. – 2011 May-Jun. – Vol. 29, N 3. – P. 322–327.
13. Щуцька Г. В. Метод прогнозування проникнення рідини крізь пористі матеріали / Г. В. Щуцька // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2015. – Vol. 3, № 11(75). – С. 19–23.

Рецензія/Peer review : 9.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Рябчиков М.Л.