

П.С. Постников ¹, К.В. Кутанова ¹, В.И. Мазин ², А.В. Штейнле ³**СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РАНЕВОЙ ПОВЯЗКИ
НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ГРАФИТА**¹ Томский политехнический университет (Томск)² Некоммерческое партнерство по научной и инновационной деятельности «Томский атомный центр» (Томск)³ Томский военно-медицинский институт МО РФ (Томск)

Коллективом авторов проведён сравнительный анализ сорбционных свойств адсорбирующей раневой повязки на основе наноструктурированного графита.

Ключевые слова: раневая повязка, перевязочный материал, адсорбция, наноструктурированный графит

**SORPTION PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED GRAPHITE-BASED
WOUND DRESSING**P.S. Postnikov ¹, K.V. Kutonova ¹, V.I. Mazin ², A.V. Shteinle ³¹ Tomsk Polytechnical University, Tomsk² Tomsk Military Medical Institute MD RF, Tomsk³ Tomsk Atomic Centre, Tomsk

The authors carried out comparative analysis of sorption properties of adsorbing nanostructural graphite-based wound dressing.

Key words: wound dressing, bandaging material, adsorption, nanostructural graphite

Наноструктурированный графит (НСГ) — это пухообразный углеродный материал низкой плотности (0,5–1,8 кг/м³) черного цвета, образующийся при термическом разложении интеркалированных соединений фторированного графита (ИСФГ) [4]. Материал представлен графитовыми частицами в виде нитей длиной от 2–7 до 10–12 мм и шириной от 0,1 до 0,4 мм. Толщина графеновых стопок в частицах составляет 6–8 нм, что соответствует 15–25 графеновым слоям при размере пор от нанометра до 10 мкм. Межплоскостное расстояние между графеновыми листами в стопках увеличено до 0,345–0,349 нм против 0,336 нм природного графита. По сути НСГ представляет собой стерильную графеновую вату и является продуктом, химически безопасным для человека.

Площадь удельной поверхности образцов НСГ превышает 500–600 м²/г, а адсорбционная способность по отношению к органическим жидкостям достигает 8000–26000 %.

Экспериментальное применение в исследованиях раневой адсорбирующей повязки на основе наноструктурированного графита показало её высокую эффективность. Материал прочно фиксирует в межслоевых порах поглощенное раневое отделяемое. Исключается десорбция экссудата, ухудшаются условия вегетирования микрофлоры, а воздухо- и паропроницаемость сорбционного слоя поддерживают сбалансированный воздухообмен и уровень влажности раневой среды.

В хирургии повреждений предпочтительно использование ИСФГ интеркалированных фторидами йода. Образующиеся при термическом разложении ИСФГ пары элементного йода, обла-

дающего дезинфицирующим действием, частично адсорбируются поверхностью НСГ.

Широкое применение сорбционно-активных перевязочных материалов для лечения гнойных ран привело к возникновению целого направления — сорбционно-аппликационной терапии [2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12]. Следует отметить, что приводимые в медицинской литературе численные значения величины сорбционной способности перевязочных материалов, как правило, завышены и в большей степени соответствуют поглотительной способности, которая характеризует механическое заполнение капиллярно-пористой структуры материала сорбатом [5]. Традиционный метод определения адсорбционной способности перевязочных материалов основан на взвешивании материалов после выдерживания в жидкости, однако он позволяет определить только механическое заполнение системы капилляров и пор исследуемого материала жидкостью и ее компонентами. Определяемый при этом показатель в сущности является не адсорбционной, а поглотительной способностью. При таком поглощении раневого отделяемого не исключена возможность десорбции, что будет благоприятствовать размножению микроорганизмов в ране и развитию токсико-резорбтивной лихорадки [1]. Истинная адсорбция означает фиксацию молекул раневого экссудата и его компонентов при образовании химических и физических связей с активными функциональными группами макромолекул или поверхностью перевязочного материала. Данная величина есть адсорбционная способность перевязочного материала. В результате прочного связывания компонентов раневого экссудата

структурой перевязочного материала ухудшаются условия вегетирования микрофлоры в ране, что оказывает благоприятное воздействие на раневую регенерацию [1, 5].

Цель исследования: сравнительное изучение поглотительной и адсорбционной способностей, удельной площади поверхности раневой адсорбирующей повязки на основе наноструктурированного графита по отношению к другим перевязочным средствам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для сравнительного изучения поглотительной, адсорбционной способностей и удельной поверхности нашего материала и других перевязочных средств использовали материалы, принадлежащие к различным химическим группам: марля медицинская, Melolin (UK), Torper (USA), Comprigel (Germany), Medicomp extra (Germany), материалы естественного происхождения на основе морских водорослей — Альгипор (Россия), коллагена — Комбутек (Россия), искусственного происхождения — Sys-pur derm (Germany), Steripore (Germany), Tender wet (Germany), Duoderm (USA), Ypsisan (Germany), Mediset (Germany), ALU-TEX (Germany), ETE (Belgium), Standard (Denmark), углеродные материалы — Ваулен (Беларусь) и АУТ-М (Украина). Особенностью исследования нашего материала являлось то, что масса повязки составляла $0,812 \pm 0,007$ г, масса упаковки — $0,777 \pm 0,002$ г, масса наногрфита в повязке — $0,036 \pm 0,016$ г.

Для раздельного определения поглотительной и адсорбционной способностей образцы испытуемых материалов массой от 0,1 до 0,9 г помещали при комнатной температуре ($17 - 20$ °С) на 1 час в объем цельной крови при массовом соотношении 1 : 100. Через 10 секунд после извлечения для стекания жидкости образцы вновь взвешивали на аналитических весах Shinko Denshi HTR-120CE ($e = 0,001$ г; $d = 0,0001$ г). Затем обрабатывали на ультрацентрифуге Sigma 2-16P с ротором 12139 в течение 45 минут на скорости 6000 об./мин. Определяли привес образцов по разнице масс до и после выдержки в крови и после центрифугирования [5].

Измерение удельной площади поверхности перевязочных материалов производили на приборе NOVA 2200 (Quantachrome Corp., USA). В качестве газа-адсорбента использовался азот. Определение удельной площади поверхности по методу БЭТ включало две стадии — оценку по изотерме адсорбции емкости монослоя и расчет удельной поверхности с использованием молекулярной площади газа [3]. Полученные данные подвергались обработке статистическими методами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение поглотительной и адсорбционной способностей образцов показало, что все исследуемые материалы независимо от химической природы составляющих их высокомолекулярных

соединений имели в основном высокие показатели поглотительной способности. В среднем этот показатель составлял 1000 — 1500 %. Повязка на основе наноструктурированного графита среди всех исследуемых материалов показала минимальную поглотительную способность — $469 \pm 5,2$ %. Поглотительные способности перевязочного средства Urgosorb (Франция) и раневого покрытия Комбутек (Россия) превышали указанное значение — $2763,0 \pm 11,9$ и $3995,0 \pm 39,5$ % соответственно. Это объясняется тем, что данный показатель обусловлен наличием в материале пор, капилляров, его развитой поверхностью и в меньшей степени химической природой и количеством функциональных групп.

С другой стороны, адсорбционная способность изученных препаратов существенно различалась. Так, марля медицинская, перевязочные материалы на основе целлюлозы — Melolin (Великобритания), Torper (США), Comprigel (Германия), Medicomp extra (Германия), материалы на основе синтетических полимеров — Sys-pur derm (Германия), Steripore (Германия), Tender wet (Германия), Duoderm (США), а также на основе углеродных материалов — Ваулен (Беларусь) и АУТ-М (Украина), — обладали близкой и сравнительно невысокой адсорбционной способностью (50 — 80 %). У препаратов МКЦ (монокарбоксил-целлюлозы) адсорбционная способность быстро возрастала с 100 до 580 % по мере увеличения содержания карбоксильных групп ($-COOH$) с 7,2 до 21,6 %. Возрастание адсорбционной способности у препаратов МКЦ обусловлено тем, что данный процесс связан с аморфизацией кристаллической структуры целлюлозы и быстрым возрастанием сорбционных центров в структуре полимера. Кроме того, возникающие вместо гидроксильных карбоксильные группы более активны в процессе сорбции молекул жидкости и компонентов биологических сред. Значительную роль в этом процессе играют белковые компоненты, всегда имеющиеся в биологических жидкостях (кровь, гной и др.), которые поглощаются структурно-аморфизированными препаратами МКЦ с возникновением межмолекулярных связей физической и химической природы с участием аминных, амидных, карбоксильных и гидроксильных групп. Следует отметить, что раневое покрытие на основе коллагена — Комбутек (Россия), имея высокие значения поглотительной способности, одновременно обладало значительной адсорбционной способностью, достигавшей 301,6 %, что обусловлено высоким содержанием активных функциональных групп. У повязки на основе наногрфита адсорбционная способность составила 343,2 %. Максимум адсорбционной способности (1177,6 %) был выявлен у перевязочного средства Urgosorb (Франция).

Изучение удельной поверхности перевязочных материалов показало значительные колебания данного показателя у раневых покрытий, принадлежащих к различным химическим

группам. Так, минимальное значение удельной поверхности ($5 \text{ м}^2/\text{г}$) установлено у раневого покрытия Комбутек (Россия), а максимальное ($25 \text{ м}^2/\text{г}$) — у хирургической ваты. Причем у целлюлозных материалов данный показатель составлял $8-25 \text{ м}^2/\text{г}$, у материалов естественного происхождения — $5-21 \text{ м}^2/\text{г}$, у искусственных полимеров — $7-20 \text{ м}^2/\text{г}$. Удельная площадь поверхности наноструктурированного графита составила $500-600 \text{ м}^2$. Обращает на себя внимание высокое значение удельной поверхности углеродного перевязочного материала АУТ-М (Украина), которое достигало $761 \text{ м}^2/\text{г}$. Результаты исследования удельной поверхности перевязочных материалов свидетельствуют о том, что величина данного показателя оказывает большее влияние на поглотительную способность материала, тогда как наличие функциональных групп больше влияет на адсорбционную способность и показатели избирательной сорбции материалов. Наличие высокой удельной поверхности у углеродного материала АУТ-М и относительно невысокое значение поглотительной способности не противоречит данному выводу и зависит, вероятно, от большей гидрофобности данного материала, по сравнению с перевязочными материалами, принадлежащими к другим химическим группам.

Таким образом, большинство изученных перевязочных материалов и средств, принадлежащих к различным химическим группам, при хороших показателях поглотительной способности обладают сравнительно невысокой адсорбционной способностью, за исключением препаратов МКЦ, адсорбирующих повязок УРГОСОРБ и повязок на основе нанографита. При этом наибольшей удельной поверхностью обладают углеродные материалы. Препараты МКЦ и повязки на основе нанографита перспективны для применения в качестве перевязочного материала для лечения ран с обильной экссудацией.

Сведения об авторах

Постников Павел Сергеевич — аспирант кафедры органической химии и технологии органического синтеза ГОУ ВПО НИ ТПУ (634053, г. Томск, ул. Вершинина, 46, к. 526; тел.: 8 (3822) 56-36-37; e-mail: postnikov@tpu.ru).

Кутонова Ксения Валентиновна — студентка 3 курса химико-технологического факультета ГОУ ВПО НИ ТПУ (634053, г. Томск, ул. Вершинина, д. 46, к. 314; тел. 8 (3822) 56-36-37; e-mail: kseniakutonova@tpu.ru).

Мазин Владимир Ильич — к.т.н., сотрудник Томского атомного центра (634041, г. Томск, ул. Вершинина, 24в; тел.: 8 (3822) 43-52-19; e-mail: tomskatom@mail.ru).

Штейнле Александр Владимирович — к.м.н., доцент, полковник медицинской службы, старший преподаватель кафедры военно-полевой хирургии Томского военно-медицинского института (634040, г. Томск, ул. Бела Куна, д. 8, кв. 70; тел.: 8 (913) 880-32-47; e-mail: steinle@mail.tomsknet.ru).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абаев Ю.К. Хирургическая повязка. — Мн.: Беларусь, 2005. — 150 с.
2. Бледнов А.В. Перспективные направления в разработке новых перевязочных средств // Новости хирургии. — 2006. — Т. 14, № 1. — С. 9–19.
3. Ефименко Н.А., Нуждин О.И. Применение сорбционных материалов в лечении гнойных ран // Воен.-мед. журн. — 1998. — Т. 319, № 7. — С. 28–32.
4. Макотченко В.Г., Назаров А.С., Фёдоров В.Е., Кузнецов Ф.А. и др. Нанографит в инженерной экологии и хирургии повреждений // Фторидные технологии: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — С. 57.
5. Мишарев О.С., Абаев Ю.К., Капуцкий В.Е. Препараты монокарбоксилцеллюлозы в гнойной хирургии // Хирургия. — 1988. — № 4. — С. 50–53.
6. Назаренко Г.И., Сугурова И.Ю. Рана. Повязка. Большой: Современные медицинские технологии. — М.: Медицина, 2002. — 472 с.
7. Aindow D., Butcher M. Films or fabrics: is it time to re-appraise postoperative dressings? // Br. J. Nurs. — 2005. — Vol. 14, N 19. — P. 15–16.
8. Bishop S.M., Walker M., Rogers A.A., Chen W.Y. Importance of moisture balance at the wound-dressing interface // J. Wound Care. — 2003. — Vol. 12, N 4. — P. 125–128.
9. Carter K. Hydropolymer dressings in the management of wound exudate // Br. J. Com. Nurs. — 2003. — Vol. 8, N 9, Suppl. — P. 10–16.
10. Martineau L., Shek P.N. Evaluation of a bi-layer wound dressing for burn care I. Cooling and wound healing properties // Burns. — 2006. — Vol. 32, N 1. — P. 70–76.
11. Martineau L., Shek P.N. Evaluation of a bi-layer wound dressing for burn care. II. *In vitro* and *in vivo* bactericidal properties // Burns. — 2006. — Vol. 32, N 2. — P. 172–179.