

## РАНЕВАЯ ПОВЯЗКА НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ГРАФИТА – ПРИМЕР ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ СОРБЦИОННЫХ И АДГЕЗИВНЫХ СВОЙСТВ

А.В. Штейнле<sup>1,2</sup>, П.С. Постников<sup>1</sup>, К.В. Кутонова<sup>1</sup>, Л.А. Штейнле<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
<sup>2</sup>ГБОУ ВПО “Сибирский государственный медицинский университет” Минздравсоцразвития России, Томск

<sup>3</sup>МЛПУ Медсанчасть № 2, Томск

E-mail: steinle@mail.tomsknet.ru

## THE NANOGRAPHITE-BASED WOUND DRESSING AS THE EXAMPLE OF OPTIMAL BALANCE OF SORPTION AND ADHESIVE PROPERTIES

A.V. Steinle<sup>2</sup>, P.S. Postnikov<sup>1</sup>, K.V. Kutonova<sup>1</sup>, L.A. Steinle<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk

<sup>2</sup>Siberian State Medical University, Tomsk

<sup>3</sup>Municipal Medical Prophylactic Institution Medsanchast No. 2, Tomsk

Цель исследования: изучение поглотительной и сорбционной способностей и адгезивных свойств раневой абсорбирующей повязки нового типа на основе наноструктурированного графита в сравнении с высокоэффективными современными перевязочными средствами. Сравнительные исследования поглотительной и абсорбционной способностей повязок и их адгезивных свойств осуществлялись в эксперименте (in vitro) – по методам Ю.К. Абаева и in vivo – по методу В.Н. Филатова и В.В. Рыльцева. Исследования показали, что раневая повязка на основе наноструктурированного графита по сравнению с современными перевязочными средствами обладает максимальной поглотительной и сорбционной способностями, но при этом – минимальными адгезивными свойствами. Установленные способности раневой повязки нового типа на основе наноструктурированного графита выгодно отличают ее от современных перевязочных средств и идеально соответствуют основным требованиям, предъявляемым к лечению ран с обильной экссудацией.

**Ключевые слова:** раневая абсорбирующая повязка на основе наноструктурированного графита, современные перевязочные средства для лечения ран с обильной экссудацией, поглотительная способность, абсорбционная способность.

The aim of the study was to examine receptivity and absorptivity of the nanographite-based wound dressing in comparison with the modern high efficiency bandages. Receptivity, absorptivity, and adhesive properties of wound dressings have been examined in vitro by the Abaev method and in vivo by the Philatov & Ryltsev method. In comparison with a number of modern high efficiency bandages, the nanographite-based wound dressing showed higher receptivity and absorptivity with minimal adhesive properties. The nanographite-based dressing was found to efficiently adsorb wound fluid retaining it within the sorption layer for a long time. Our data suggest that the nanographite-based wound dressing ideally complies with the requirements for treatment of highly exudating wounds and provides a number of advantages over the available modern bandages.

**Key words:** nanographite-based absorbent wound dressing, bandage, receptivity, absorptivity.

### Введение

Наиболее важным элементом в лечении ран является подбор перевязочных материалов, соответствующих фазам заживления. Особо проблемными для лечения явля-

ются раны с обильным экссудатом, часто осложняющиеся вторичными воспалительными процессами, токсическим поражением продуктами некроза тканей и, как следствие, неудовлетворительными результатами лечения. Ог-

нестрельные ранения отличаются максимальной экссудацией – 0,5 мл/см<sup>2</sup> в сутки [2]. Сегодня в мировой хирургической практике лечения ран широко используются перевязочные материалы с высокой поглощающей способностью. К сожалению, из-за экономических проблем в России доминирует ватно-марлевая повязка.

Разработка новых перевязочных средств на основе наноматериалов не потеряла своей значимости [10, 11]. Кроме того углеродные наноматериалы используются в качестве систем целевой доставки лекарственных препаратов [12], флуоресцентных меток [13], препаратов, одновременно являющихся средствами ранней диагностики и лечения агентов [14].

К концу XX в. главной проблемой в исследованиях сорбционных свойств перевязочных материалов являлось отсутствие адекватной модели для изучения их сорбционных свойств. Раневой экссудат обладает сложным физико-химическим составом, включающим форменные элементы крови, фибрин, фрагменты тканей и ряд низкомолекулярных соединений. По этой причине исследователям сложно было подобрать модель для построения классических абсорбционных кривых, что делало невозможным полноценный количественный анализ. Не так давно разработан метод определения сорбционных свойств раневых повязок. Метод основан на оценке степени поглощения цельной крови активным материалом повязки с последующим гравиметрическим определением количества сорбированной цельной крови [2]. Затем влажный перевязочный материал отжимается под влиянием центробежных сил и повторно взвешивается. Устанавливаемая таким образом разность в весе означает количество удержанной крови [2]. Данный подход позволяет оценивать сорбционные свойства наиболее полно с учетом десорбируемого раневого экссудата, так как десорбция раневого отделяемого является одним из факторов осложнений в раневом процессе – развития вторичных инфекций, токсических поражений тканей и неудовлетворительных результатов лечения.

Высокая потребность в России в высокоэффективных перевязочных средствах открывает большие перспективы для применения раневой абсорбирующей повязки на основе наноструктурированного графита (НСГ) (патент РФ на изобретение № 2411960 “Раневая повязка”, зарегистр. 20 февраля 2011 г.). Наноструктурированный графит обладает высокой удельной поверхностью, биологической совместимостью. Сорбционный слой из НСГ активно поглощает и эффективно удерживает раневое отделяемое, но при этом обеспечивает доступ воздуха к ране [5, 7–9]. В сочетании с низкой ценой [7] эти свойства НСГ позволили использовать их как перспективный материал для создания раневой повязки нового типа. В экспериментальных исследованиях такая раневая повязка проявила себя как высокоэффективное средство для лечения ран с обильным отделяемым.

Цель исследования: изучение поглощательной и абсорбционной способностей и адгезивных свойств раневой повязки на основе наноструктурированного графита по сравнению с коммерчески доступными перевязочными средствами для лечения ран с обильной экссудацией.

## Материал и методы

Два варианта раневых абсорбирующих повязок на основе НСГ (оболочка из обеззоленного фильтра и из нетканого материала “Спаслэйс”) по поглощательной и сорбционной способностям сравнивались с перевязочными средствами от различных производителей, как-то: марля медицинская целлюлозная (Россия); вата хирургическая (Россия); марлевый бинт Zemuko (Германия); Topper (США); Воскосорб (Россия); Hartmann Zetuvit E (Германия); Intra Site Gel (Великобритания); Mesorb (Швеция); Melolin (Великобритания); Merpore (Германия); Urgosorb (Франция); Comfeel Plus (Дания); Melgisorb (Швеция); Merpex (Швеция); Transorbent (Дания); Hidrocoll (Германия); Hydrosorb (Германия); TenderWet 24 (Германия); SyspurDerm (Германия); Sorbalgon (Германия); Actisorb Plus (США).

Для определения поглощательной способности навески испытуемых материалов массой 0,05–0,9 г выдерживали в цельной крови в соотношении 1 : 100 при температуре 17–20 °С в течение 1 ч. По разнице массы образцов до и после сорбции определяли первое значение – процент привеса, который считали поглощательной способностью [2, 3].

Для определения абсорбционной способности после взвешивания (см. выше), образцы центрифугировали в течение 45 мин при 6000 об./мин. По разнице массы образцов до сорбции и после центрифугирования определяли процент привеса, что являлось абсорбционной способностью [2].

Сравнительные исследования адгезивной способности перевязочных материалов осуществлялись *in vitro* и *in vivo*. По методу (*in vitro*) Ю.К. Абаева [1, 2], для изучения адгезивных свойств в ячейки из бесцветного оргстекла с рабочей поверхностью 3x110 мм помещали пластины из оргстекла толщиной 1 мм, обернутые в три слоя медицинской марлей. В ячейки наливали 5 мл цельной крови с добавлением 1 мл 2%-го раствора тромбина. Через 1 мин на поверхности пластинок накладывали испытуемую повязку. Ячейки с образцами помещали в термостат при 37 °С на 24 ч (рис. 1).

Раздир испытуемой повязки оценивали под углом 90° к поверхности медицинской марли. Поверхностную энергию на границе “перевязочный материал – среда”

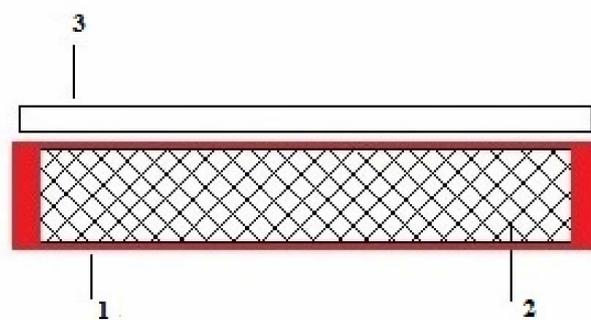


Рис. 1. Начало схемы эксперимента по изучению адгезивных способностей перевязочных материалов по Ю.К. Абаеву [1, 2] (1 – цельная кровь с добавлением 1 мл 2%-го раствора тромбина; 2 – медицинская марля; 3 – испытуемая повязка)

оценивали по величине угла смачивания средой поверхности материала. Для этого на поверхность исследуемого перевязочного материала наносили каплю цельной крови и с помощью горизонтального микроскопа тотчас измеряли угол, образующийся между касательной в основании капли и поверхностью материала. Таким образом, диапазон значений составлял от 1 до 90° (рис. 2).

Для сравнительной оценки адгезивных свойств предложенных нами раневых адсорбирующих повязок по сравнению с другими перевязочными средствами. *in vivo* мы применили устройство В.Н. Филатова и В.В. Рыльцева [6]. Это устройство было нами усовершенствовано, но при этом принцип его работы не нарушался. Датчиком служил полупроводниковый тензиопреобразователь типа С-50. Находящаяся в течение суток на огнестрельной ране после первичной хирургической обработки повязка и другие изучаемые перевязочные средства фиксировались “якорем” и удалялись с поверхности раны. При этом соответствующее усилие, приложенное к датчику, преобразовывалось в электрический сигнал в диапазоне от 0 до 15 мВ. Этот сигнал обрабатывался микроконтроллером и выводился на экран компьютера, отражая усилия, приложенные для удаления повязки с поверхности раны. Наше усовершенствование заключалось в том, что предложенный В.Н. Филатовым и В.В. Рыльцевым [6] самопишущий прибор мы заменили микроконтроллером (рис. 3). Однако тарировку от 0 до 500 г мы сохранили в диапазоне, предложенном авторами метода [6]. Для этого было проведено тестирование перед проведением экспериментов соответствующими навесками. Поэтому усилия, прилагаемые для удаления перевязочного средства с раневой поверхности, мы оценивали в условных еди-

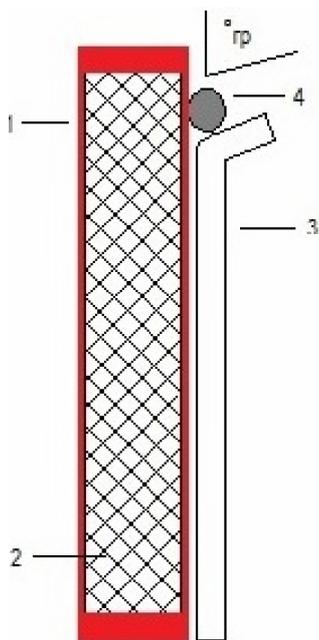


Рис. 2. Окончание схемы эксперимента по изучению адгезивных способностей перевязочных материалов по Ю.К. Абаеву [1, 2]. Определение угла раздира испытуемой повязки к поверхности медицинской марли (1 – цельная кровь с добавлением 1 мл 2%-го раствора тромбина; 2 – медицинская марля; 3 – испытуемая повязка; 4 – капля цельной крови)

ницах в диапазоне от 0 до 500 у.е.

Электропитание тензиопреобразователя осуществлялось от источника постоянного тока типа Б5 43 [4], напряжения 2,2 В, которое поступало одновременно на одну диагональ с противоположной, таким образом, сигнал разбалансировки регистрировался микроконтроллером. Все составные части, примененные в устройстве, были промышленного производства.

Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась с применением методов анализа, используемого в биологии и медицине. Нормальное распределение показателей приведены в их среднем значении со стандартным отклонением:  $X \pm \sigma$ . Статистическую значимость различий анализировали с помощью непараметрического критерия Фридмана с расчетом коэффициента конкордации Кендала при дисперсионном анализе повторных измерений. Результаты считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Средний процент привеса, который является показателем поглотительной способности перевязочных средств, применяемых сегодня для лечения ран с обильной экссудацией, был в пределах 1096,0–2763,0%. Поглотительная способность составила в среднем  $2008,6 \pm 116,2\%$  (табл. 1).

Минимальной поглотительной способностью обладали марля медицинская, вата хирургическая, гидрогелевая повязка на основе полиуретанового полимера Hydrosorb (Германия), повязка из мягкой двухслойной полиуретановой губки SyspurDerm (Германия), повязка из высококачественных волокон альгината кальция Sorbalgon (Германия) и повязка из кальциево-альгинатных гидроколлоидных волокон Comfeel Plus (Дания). Предложенная нами адсорбирующая раневая повязка на основе НСГ имела массу  $0,0221 \pm 0,092$  г (вариант с оболочкой из обез-

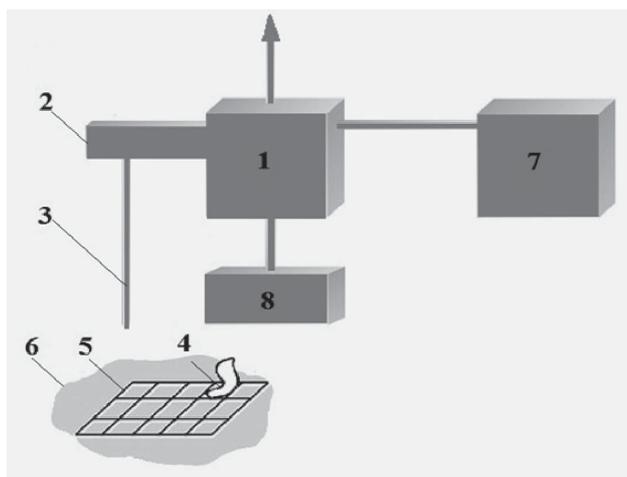


Рис. 3. Принципиальная схема В.Н. Филатова и В.В. Рыльцева для определения адгезивных свойств перевязочных средств [6]. 1 – полупроводниковый тензиопреобразователь; 2 – якорь тензиопреобразователя; 3 – нить; 4 – хирургическая игла; 5 – перевязочный материал; 6 – рана; 7 – микроконтроллер; 8 – источник постоянного тока

Таблица 1

**Поглотительная и абсорбционная способности раневых повязок на основе наноструктурированного графита по сравнению с другими перевязочными средствами**

Перевязочные материалы(страна-производитель)	Способность		
	поглотительная, %	абсорбционная, %	Их соотношение
Марля медицинская целлюлозная (Россия)	1096,0±17,4	48,2±0,5*	22,8
Вата хирургическая (Россия)	1819,0±16,7	49,1±0,4*	37,1
Бинт Zemuko (Германия)	2658,0±18,1	35,1±1,6*	75,9
Topper (США)	2219,2±12,6	34,2±2,2*	65,3
Воскосорб (Россия)	1938,4±16,9	28,4±0,5*	69,2
Hartmann Zetuvit E (Германия)	2008,7±11,3	32,2±1,9*	62,7
Intra Site Gel (Великобритания)	1888,5±14,4	23,9±2,5*	78,7
Mesorb (Швеция)	2585,0±17,3	32,4±5,3*	80,8
Melolin (Великобритания)	1901,4±14,4	34,0±2,9*	55,9
Мероре (Германия)	1912,2±12,6	49,0±1,8*	39,0
Urgosorb (Франция)	2763,0±11,9	1177,6±1,4*	2,3
Comfeel Plus (Дания)	1734,0±13,5	245,0±3,2*	7,1
Melgisorb (Швеция)	1844,0±12,8	975,4±2,8*	1,9
Мерплекс (Швеция)	2432,0±19,2	707,3±6,4*	3,4
Transorbent (Дания)	2001,5±18,4	775,7±6,5*	2,6
Hidrocoll (Германия)	1922,2±17,9	643,3±9,8*	3,0
Hydrosorb (Германия)	1643,0±22,5	454,6±19,5*	3,6
TenderWet 24 (Германия)	2490,0±14,4	1001,6±1,4*	2,5
SyspurDerm (Германия)	1782,0±13,1	360,4±10,8*	5,0
Sorbalgon (Германия)	1729,0±26,3	291,3±12,4*	5,9
Actisorb Plus (США)	1828,0±19,5	39,7±3,2*	46,9
Раневая повязка на основе НСГ (оболочка – обеззоленный фильтр)	3469,3±19,5	2477,2±1,1*	1,4
Раневая повязка на основе НСГ (оболочка – “Спанлэйс”)	3499,5±16,6	2480,9±2,3*	1,4

Примечание: \* – различия в поглотительной и абсорбционной способностях каждого перевязочного средства достигали статистической значимости ( $p < 0,05$ ).

золенного фильтра) и  $0,0799 \pm 0,032$  г (вариант с оболочкой “Спанлэйс”). Масса оболочки повязки из обеззоленного фильтра весила  $0,0186 \pm 0,021$  г; а из материала “Спанлэйс” –  $0,0764 \pm 0,032$  г соответственно. Таким образом, масса НСГ в повязке с оболочкой из обеззоленного фильтра составляла 15,8%, а в повязке из нетканого материала “Спанлэйс” – 4,3%. Поглотительная способность раневой повязки с оболочкой из обеззоленного фильтра составила  $3469,3 \pm 19,5\%$ , а из нетканого материала “Спанлэйс” –  $3499,5 \pm 16,6\%$ . Максимальную поглотительную способность среди сравниваемых перевязочных средств продемонстрировали альгинатно-гидроколлоидная абсорбирующая повязка на полимерной основе Urgosorb (Франция), марлевый бинт Zemuko (Германия), высокоабсорбирующая повязка на основе взбитой целлюлозы Mesorb (Швеция), многослойная раневая повязка с полиакрилатом в качестве основного абсорбирующего вещества TenderWet 24 (Германия) и повязка на основе абсорбирующей прокладки из пенополиуретана Мерплекс (Швеция). При сравнении изучаемых перевязочных средств и предложенной нами абсорбирующей повязки на основе НСГ установлено, что в отличие от поглотительной способности различия в абсорбционных свойствах находились в меньших пределах – от 32,2 до 1177,6%, что в среднем составило  $336,8 \pm 58,9\%$ .

Максимально “потеряла” привес после центрифугирования (за счет “возвращения” поглощенной цельной крови) ранее получившая высокую оценку по поглотительной способности повязка Mesorb (Швеция) – в 80,8 раз. Кроме того, максимально потеряли привес: повязка Intra Site Gel (Великобритания), состоящая из аморфного гидрогеля на основе модифицированного полимера

карбоксиметилцеллюлозы, пропиленгликоля и воды – в 78,7 раз; марлевый бинт Zemuko (Германия) – в 75,9 раз; повязка Воскосорб (Россия), состоящая из сетчатого материала, пропитанного пчелиным воском – в 69,2 раза; и повязка на основе целлюлозы Hartmann Zetuvit E (Германия) – в 62,7 раза.

Минимальную потерю привеса после центрифугирования имела повязка Melgisorb (Швеция), сделанная на основе волокон альгината, произведенных из морских водорослей ламинарий, преобразованных в нетканый материал – в 1,9 раза. У продемонстрировавшей прежде максимальный привес (поглотительную способность) альгинатно-гидроколлоидной абсорбирующей повязки на полимерной основе Urgosorb (Франция) была отмечена потеря привеса в 2,3 раза (абсорбционная способность –  $1177,6 \pm 1,4\%$ ). У показавшей прежде максимальный привес (поглотительную способность) многослойной раневой повязки TenderWet 24 (Германия) с полиакрилатом в качестве основного абсорбирующего вещества была определена потеря привеса в 2,5 раз (абсорбционная способность –  $1001,6 \pm 1,4\%$ ); у повязки Transorbent (Дания) на основе полиуретановой пены с впитывающим сухим гидрогелем, – в 2,6 раза (абсорбционная способность –  $775,7 \pm 6,5\%$ ); у повязки Hidrocoll (Германия), состоящей из гидроколлоидов, заключенных в самофиксирующийся эластомер, – в 3,0 раза (абсорбционная способность –  $643,3 \pm 9,8\%$ ).

С минимальной потерей привеса после аналогичных условий центрифугирования (в 1,4 раза) отличалась предложенная нами с вариантами из двух оболочек раневая абсорбирующая повязка на основе НСГ. Абсорбционная способность у этой повязки составила  $2477,2 \pm 1,1\%$  для

Таблица 2

**Атравматичность (адгезивные свойства) раневых адсорбирующих повязок на основе НСГ по сравнению с другими перевязочными средствами**

№ п/п	Перевязочные материалы (страна – производитель) касательной в основании капли и поверхностью материала (град.)	Величина угла, образующегося между средства с раневой поверхности (УЕ)	Усилия, прилагаемые для удаления перевязочного
1	2	3	4
1	Марля медицинская целлюлозная (Россия)	5±0,5	476±11,4
2	Вата хирургическая (Россия)	18±1,2	449±12,2
3	Марлевый бинт Zemuko (Германия)	12±2,9	410±10,1
4	Topper (США)	9±1,1	211±21,2
5	Воскосорб (Россия)	15±1,1	143±2,8
6	Hartmann Zetuvit E (Германия)	29±2,9	134±8,8
7	Intra Site Gel (Великобритания)	48±4,5	199±4,4
8	Mesorb (Швеция)	51±6,7	209±9,5
9	Melolin (Великобритания)	19±4,4	290±3,5
10	Merore (Германия)	27±5,9	255±4,8
11	Urgosorb (Франция)	40±8,4	118±5,8
12	Comfeel Plus (Дания)	24±6,1	222±1,8
13	Melgisorb (Швеция)	19±1,1	259±7,7
14	Meriplex (Швеция)	39±9,5	129±5,8
15	Transorbent (Дания)	55±8,4	99±3,5
16	Hidrocoll (Германия)	49±3,3	100±4,8
17	Hydrosorb (Германия)	30±4,8	191±9,3
18	TenderWet 24 (Германия)	59±8,4	96±2,9
19	SyspurDerm (Германия)	19±4,4	181±3,4
20	Sorbalgon (Германия)	29±3,1	200±8,8
21	Actisorb Plus (США)	19±2,1	199±8,5
22	Раневая адсорбирующая повязка на основе НСГ (оболочка – обеззоленный фильтр)	74±2,8	45±4,9
23	Раневая адсорбирующая повязка на основе НСГ (оболочка – “Спанлэйс”)	88±1,9	36±3,1

варианта с оболочкой из обеззоленного фильтра и 2480,9±2,3% – для варианта с оболочкой из нетканого материала “Спанлэйс”. Это свидетельствовало в пользу их исключительной эффективности в лечении ран с обильной экссудацией, поскольку после центрифугирования адсорбирующая повязка на основе НСГ удерживала в своей структуре максимальное количество цельной крови.

Соотношение между поглотительной и абсорбционной способностями напрямую зависит от структуры и свойств материала. Волокнистые и крупнопористые материалы (губки, пены) обладают высокой поглотительной способностью, но, с другой стороны, они отдают влагу при незначительном физическом воздействии. Для классических перевязочных средств (вата, марля) и новых средств, изготовленных на основе синтетических материалов (Intra Site Gel, Великобритания; Melolin, Великобритания и др.), характерны близкие по значению сравнительно невысокие показатели абсорбционной способности (28,4–49,0%). Центрифугирование после поглощения цельной крови этими перевязочными средствами уменьшило первоначальный привес в 80,8–22,8 раза.

Материалы, обладающие высокой удельной поверхностью и способные к физико-химическому связыванию раневого экссудата, отличаются практически необратимой абсорбцией. Абсорбционная способность перевязочных средств на полимерной основе с кальциево-альгинатными волокнами и полиакрилатом максимальна и составляет 1101,6–1177,6%. Центрифугирование после поглощения цельной крови этими перевязочными средства-

ми уменьшило первоначальный привес в 2,3–2,5 раза. Высокая абсорбционная способность современных перевязочных средств Melgisorb (Швеция), Urgosorb (Франция) и TenderWet 24 (Германия), содержащих соответствующие полимерные основы с альгинатными, кальциево-альгинатными волокнами с гидроколлоидными частицами и полиакрилатом, обеспечивается эффективной фиксацией сорбентом поглощенного раневого экссудата.

Высокая абсорбционная способность раневой повязки на основе НСГ, которая составила 2477,2%, объясняется не только чрезвычайно развитой поверхностью с большим количеством пор различного размера и способностью к химическому связыванию раневого отделяемого, но и возможностью удержания раневого экссудата химическими соединениями, благодаря включению карбоксильных групп. Эти данные прекрасно коррелируют с ранее проведенными экспериментальными исследованиями по сорбционной емкости НСГ [5, 9–12].

В результате сравнительных исследований адгезивных свойств современных перевязочных средств, травмирующих раневую поверхность, установлено, что широко распространенные марля и вата обладают максимальными адгезивными свойствами (табл. 2).

Минимальная величина угла, образующегося между касательной в основании капли и поверхностью материала, и усилия, прилагаемого для удаления перевязочного средства с раневой поверхности, составили у марли медицинской целлюлозной 5,0±0,5° и 476,0±11,4 у.е. и у бинта Topper – 9,0±1,1° и 211,0±21,2 у.е. соответственно.

Минимальные адгезивные свойства выявлены у предложенных нами раневых адсорбирующих повязок на основе НСГ с оболочками из обеззоленного фильтра и нетканого материала “Спанлэйс” ( $74 \pm 2,8$ ,  $88 \pm 1,9^\circ$  и  $45 \pm 4,9$ ,  $36 \pm 3,1$  у.е. соответственно). Из сравниваемых современных перевязочных средств максимально близкие характеристики имела повязка TenderWet 24 ( $59,0 \pm 8,4^\circ$  и  $96,0 \pm 2,9$  у.е.).

### Заключение

Оба предложенных варианта раневой повязки на основе наноструктурированного графита с оболочками из обеззоленного фильтра и нетканого материала “Спанлэйс” перспективны для использования в лечении ран. По сравнению с имеющимися в продаже перевязочными средствами обе повязки на основе НСГ эффективно эвакуируют раневое отделяемое, обеспечивая только “вертикальный дренаж”. Обладая минимальными адгезивными свойствами, такие повязки способны длительно фиксировать раневое отделяемое в сорбционном слое, исключая десорбцию в рану и проникновение на кожные покровы, что важно для исключения мацерации.

Эти качества повязок на основе наноструктурированного графита ухудшают условия вегетирования микрофлоры в ране и способствуют регенерации с хорошими анатомическими и функциональными результатами.

### Литература

- Абаев Ю.К. Справочник хирурга. Раны и раневая инфекция. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 427 с.
- Абаев Ю.К. Хирургическая повязка. – Минск: Беларусь, 2005. – 150 с.
- Воробьев В.М., Штейнле А.В., Ратькин А.В. и др. Перспективы абсорбирующей повязки на основе наноструктурированного графита на рынке перевязочных средств России // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – Т. 9, № 2. – С. 71–76.
- Касаткин А.С., Немцов М.В. Курс электротехники. – М.: Высш. шк., 2005. – 542 с.
- Рязанцева Н.В., Хандорин Г.П., Хасанов О.Л. и др. Экспериментальное обоснование эффективности раневой абсорбирующей повязки на основе наноструктурированного графита // Бюллетень сибирской медицины. – 2009. – Т. 8, № 4. – С. 60–63.
- Филатов В.Н., Рыльцев В.В. Биологически активные текстильные материалы. – М.: Информэлектро, 2002. – Т. 1. Терапевтические системы “дальцекс-трипсин”. – 248 с.
- Хандорин Г.П., Дубов Г.И., Мазин В.И. и др. Синтез и применение наноструктурированного графита // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316, № 3. – С. 5–11.
- Штейнле А.В., Хандорин Г.П., Гаврилин Е.В. и др. Чрескостный остеосинтез и нанотехнологии в лечении сочетанных огнестрельных костно-артериальных повреждений // Бюллетень сибирской медицины. – 2009. – Т. 24, № 2, вып. 1. – С. 45–54.
- Штейнле А.В., Рязанцева Н.В., Гаврилин Е.В. и др. Чрескостный остеосинтез и нанотехнологии в лечении сочетанных огнестрельных костно-венозных повреждений конечностей // Бюллетень сибирской медицины. – 2009. – Т. 24, № 3, вып. 1. – С. 92–102.
- Ajay V.S., Aditi A.S., Gade N.W. et al. Nanomaterials: New generation therapeutics in wound healing and tissue repair // Current Nanoscience. – 2010. – Vol. 6, No. 6. – P. 577–586.
- Jayakumar R., Prabakaran M., Kumar P.T. et al. Biomaterials based on chitin and chitosan in wound dressing applications // Biotechnology Advances. – 2011. – Vol. 29, No. 3. – P. 322–337.
- Narayan R.J., Boehm R.D., Sumant A.V. Medicinal applications of diamond particles and surface // Materials Today. – 2011. – Vol. 14, No. 4. – P. 154–163.
- Vaijayanthimala V., Chang H.-C. Functionalized fluorescent nanodiamonds for biomedical applications // Nanomedicine. – 2009. – Vol. 4, No. 1. – P. 47–55.
- Zhu Y., Li W., Zhang Y. et al. The biocompatibility of nanodiamonds and their application in drug delivery systems // Theranostics. – 2012. – Vol. 2, No. 3. – P. 302–312.

Поступила 25.04.2012

### Сведения об авторах

**Штейнле Александр Владимирович**, к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии, военно-полевой хирургии ГБОУ ВПО “Сибирский государственный медицинский университет” Минздравсоцразвития России, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Национального исследовательского Томского политехнического университета, инженер отдела физической электроники Института сильноточной электроники СО РАН.

Адрес: 634050, г. Томск, Московский тр., 2.

E-mail: steinle@mail.tomsknet.ru.

**Постников Павел Сергеевич**, аспирант кафедры органической химии и технологии органического синтеза Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Адрес: 634053, г. Томск, ул. Вершинина, 46–526.

E-mail: postnikov@tpu.ru.

**Кутанова Ксения Валентиновна**, студентка 5-го курса химико-технологического факультета Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Адрес: 634053, г. Томск, ул. Вершинина, 46–314.

E-mail: kseniakutanova@tpu.ru.

**Штейнле Лариса Анатольевна**, врач клинической лабораторной диагностики лабораторно-диагностического отделения МЛПУ МСЧ № 2.

E-mail: steinle@mail.tomsknet.ru.