

Об эффективности местного применения гидрогелей карбополов при лечении синдрома диабетической стопы

¹Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург

Резюме. В экспериментах на крысах оценено влияние 0,5% гидрогелей редкосшитых акриловых полимеров (карбополов), антибактериальной мази на основе полиэтиленоксидов (левомеколь), серебросодержащих кремов (дермазин и аргосульфат), мази сульфадиазина серебра с эпидермальным фактором роста (эбермин), раневыми покрытиями из бактериальной целлюлозы с повидарголом, с нуль-валентным серебром (aquacell-Ag) на репаративные процессы (сроки очищения и эпителизацию, частоту нагноения), индекс заживления, а также импеданс кожи крыс при гнойно-некротических поражениях кожи на фоне диабета. Установлено, что местное применение гидрогелей карбопола с антисептиками (повидарголом) и наноконпонентами (природным комплексом фуллеренов) сокращает срок очищения ран на фоне декомпенсированного диабета от детрита, а также их заживления на 8,4 суток (20,5%, $p < 0,05$), снижает частоту нагноения (на 21,3–25,4%, $p < 0,05$), оказывает выраженное бактерицидное действие по отношению к возбудителям раневых инфекций, восстанавливает импеданс тканей. Гидрогели на основе редкосшитых акриловых полимеров, модифицированных электрически (частотно-модулированным сигналом) являются весьма перспективной основой для ранозаживляющих рецептур, пригодных для лечения гнойно-некротических поражений на фоне синдрома диабетической стопы.

Ключевые слова: репаративная регенерация, синдром диабетической стопы, гнойные раны, влажное заживление, гидрогели, карбопол, редкосшитые акриловые полимеры.

Введение. Сахарный диабет является одним из наиболее распространенных соматических заболеваний населения как нашей страны, так и за рубежом. Им страдает не менее 6–8% населения России [2, 13, 14]. Синдром диабетической стопы является сложным комплексом анатомо-функциональных изменений, который встречается у 30–80% больных сахарным диабетом. Он развивается у 80% больных диабетом спустя 15–20 лет после начала заболевания, его признаки диагностируются у каждого третьего больного диабетом в России [3, 11]. В лечении пациентов с синдромом диабетической стопы важная роль отводится местному консервативному лечению ран [7]. Для достижения положительных результатов местного лечения гнойно-некротических поражений кожи при диабете важен подбор оптимальной основы ранозаживляющих рецептур, обеспечивающих течение репаративной регенерации в условиях влажной среды, не позволяющей формировать зоны вторичного некроза и рецидив поражения [4, 6]. Перспективным подходом к оптимизации репарации ран на фоне диабета может стать разработка ранозаживляющих средств на основе гелей редкосшитых акриловых полимеров [12, 14]. К достоинствам гелей на основе карбополов следует отнести термическую, химическую и микробиологическую устойчивость, высокую вязкость, даже при низких концентрациях полимера, способность стабилизировать эмульсии I и II рода, совместимость с большинством лекарств, диапазон pH от 4 до 10, отличные суспендирующие свойства и тиксотропность,

легкость нанесения и удаления с поверхности кожи, высокая сорбционная способность лекарственных веществ [15]. Нами [1, 5] ранее было показано, что при воздействии на 0,5% гидрогель Carbopol ETD 2020 электрическим частотно-модулированным сигналом происходит изменение его структуры, заключающееся в разрушении поперечных сшивок пространственной решетки редкосшитого полимера, что повышает его т.н. квазимакропористость, а также электрофизические свойства дипольных молекул воды без изменения ее химического состава и вязкости. Электрофизическое воздействие на гидрогели (преимущественно, на диполи воды) обеспечивает т.н. «слабое воздействие» путем управления физико-химическими процессами в веществе на границе раздела фаз.

Цель исследования. Экспериментальное изучение эффективности гидрогелей Carbopol ETD 2020, модифицированных электрически (частотно-модулированным воздействием), при гнойно-некротических поражениях кожи на фоне декомпенсированного диабета.

Материалы и методы. Исследование выполнено на 88 белых беспородных крысах массой 240–280 г. в клинике экспериментальных животных № 2 и лаборатории кафедры патологической физиологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. В ходе их проведения соблюдены положения «Федерального руководства по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ» [8].

Сахарный диабет у животных воспроизводили путем однократного внутривенного введения 170 мг/кг аллоксана.

Манипуляции с животными проводили под ингаляционным эфирным наркозом. Гнойно-некротические поражения площадью 5–10% поверхности тела воспроизводили по собственной методике [1, 5], осуществляли круговое иссечение кожи до собственной фасции (диаметр раны соответствовал расчетному) и контаминацию раны микробной взвесью, содержащей 10⁹ микробных тел культуры золотистого стафилококка штамма 209-Р. В группах сравнения осуществлялся анализ течения репаративных процессов при применении ранозаживляющих препаратов, которые наносили на раны спустя 15–30 мин после их воспроизведения, впоследствии – на перевязках, выполняемых через день, вплоть до их заживления. Для местного лечения ран использовали: модифицированные частотно-модулированным сигналом гидрогели Carborol ETD 2020 с вязкостью 65±5 Пуаз, рН=7,5, производства «Рений-08» (Санкт-Петербург) с повидарголом, янтарной кислотой, сульфадиазином серебра и эпидермальным фактором роста, природным комплексом фуллеренов C₆₀. В группах сравнения раны обрабатывали: левомеколем производства «Нижфарм» (Нижний Новгород); дермазином (Lek Pharma, Словения); аргосульфамом (Jelfa, Польша); эбермином (Центр геной инженерии и биотехнологии, Куба); раневыми покрытиями из бактериальной целлюлозы (БЦ) с пропиткой повидарголом (Научно-исследовательский институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, Санкт-Петербург); из целлюлозы гидрофайбер с серебром (Convatec, Великобритания).

Ранозаживляющие средства на раны наносили спустя 30 мин после нанесения ран животным с диабетом, впоследствии – на перевязках, выполняемых через день, вплоть до окончательного заживления ран. Для оценки их эффективности ежедневно проводили оценку внешнего вида ран, отмечали характер отделяемого, наличие и вид грануляций, фиксировали сроки отторжения струпа и заживления ран. Влияние лекарственных средств на заживление гнойных ран оценивали при помощи планиметрического метода Л.Н. Поповой [10] с определением площади раны и расчетом индекса заживления. Антимикробные свойства ранозаживляющих средств оценивали по величине зон задержки роста стандартной культуры *Staphylococcus aureus* 209 Р. Коэффициент поляризации пораженных участков кожи лабораторных животных измерялся прибором для импульсной импедансометрии производства «Квантмедприбор» (Самара, Россия).

Результаты исследований обрабатывали методами вариационной статистики.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что наибольшая эффективность при лечении гнойных ран у животных с декомпенсированным диабетом

констатирована в случаях местного применения мази сульфадиазина серебра с эпидермальным фактором роста (эбермин), раневого покрытия из целлюлозы технологии гидрофайбер с серебром (aquacel-Ag), а также модифицированного геля Carborol ETD 2020 с пропиткой фуллеренами C₆₀, сократившими общий срок заживления, соответственно, на 6,7; 6,6 и 8,4 суток, т.е. на 17,2–20,5% (p<0,05), таблица 1. Использование многокомпонентной антибактериальной мази на гидрофильной основе (левосин) и крема сульфадиазина серебра (дермазин) оказалось малоэффективным, т.к. ускорило заживления ран у животных с экспериментальным диабетом лишь на 2 и 5 сутки, т.е. на 4,9 и 13% (p>0,05).

Гистологическое исследование биоптатов ран у животных на фоне декомпенсированного сахарного диабета подтверждает позитивное влияние на репаративные процессы в условиях длительной гипергликемии мази сульфадиазина серебра с эпидермальным фактором роста, раневого покрытия из целлюлозы технологии гидрофайбер с нульвалентным серебром, а также, в особенности геля Carborol ETD 2020, модифицированного частотно-модулированным сигналом и с пропиткой фуллеренами. Препараты сокращают продолжительность отдельных фаз раневого процесса и достоверно ускоряют продолжительность срока заживления ран. Их применение позволяет предотвратить прогрессирование гнойно-некротических изменений, снизить частоту нагноения ран, ускорить

Таблица 1

Планиметрическая оценка эффективности ранозаживляющих средств при диабете

Группа животных (в каждой n=8), раны у которых обрабатывали	Сроки заживления ран, сутки (M±m)	
	нет диабета	есть диабет
Мазью левомеколь	32,4±0,4	39,1±0,7 ²
Кремом дермазин	29,3±0,4 ¹	35,8±0,7 ^{1,2}
Кремом аргосульфам	29,5±0,4 ¹	36,0±0,6 ^{1,2}
Мазью эбермин	28,8±0,5 ¹	34,4±0,5 ^{1,2}
Покрытием из БЦ с сукцинатом	33,4±0,8	40,2±0,6 ²
Покрытием из БЦ с повидарголом	29,5±0,7 ¹	36,2±0,6 ^{1,2}
Покрытием aquacel-Ag	28,3±0,9 ¹	34,5±0,6 ^{1,2}
Гелем без пропитки (контроль)	31,2±0,4 ¹	37,5±0,6 ²
Гелем с сукцинатом	33,6±0,6	39,4±0,4 ²
Гелем с повидарголом	30,2±0,3 ¹	36,8±0,6 ^{1,2}
Гелем с сульфадиазином серебра	29,5±0,5 ¹	37,2±0,6 ^{1,2}
Гелем с фуллеренами C ₆₀	27,6±0,5 ¹	32,7±0,5 ^{1,2}
Без лечения (контроль)	34,5±0,8	41,1±0,7 ²

Примечание: ¹ – различия по сравнению с контролем (без лечения); ² – по сравнению с группой животных без диабета, p<0,05.

процессы формирования сухого струпа, развития и роста соединительной ткани, а также эпителизации даже при тяжелом декомпенсированном сахарном диабете.

Течение раневого процесса в случаях выбора для местного лечения гнойных ран на фоне декомпенсированного диабета разрабатываемых гидрогелей 0,5% карбопола, предварительно модифицированных частотно-модулированным сигналом по оригинальной методике [1, 5] имело существенные особенности. Так, в 84,6% наблюдений в первые трое суток после моделирования гнойно-некротического процесса на фоне диабета у животных, местное лечение которых осуществляли гидрогелями, раны были покрыты гладким, мягким на ощупь струпом беловато-серого цвета, плотно прилегающим к ране и не спаянным с подлежащими тканями. В 82,3% наблюдений к 8–10 суткам после моделирования тяжелого гнойно-некротического процесса у крыс, для лечения которых применялись гидрогели с пропиткой антисептиками, сформировавшийся струп оказался уже отслоен по $3,2 \pm 0,5$ мм от края раны, при этом отделяемое из ран имело серозный характер. Также в 84% случаев на фоне местного применения модифицированных гидрогелей Carbopol ETD 2020 процессы очищения ран завершались к 12–15 суткам после травмы, т.е. быстрее на 5 суток ($p < 0,05$), чем в группах животных группы контроля, местного лечения ран у которых не было. У животных на фоне экспериментального диабета после отторжения струпа края и дно ран были заполнены грануляциями с незначительным количеством корочек/чешуек, при этом раны были плотно спаяны с окружающими тканями. В 96% наблюдений после отторжения струпа за счет контракции и рубцового стяжения площадь ран сократилась на 50–60% от исходной величины.

При местном использовании модифицированного геля на основе Carbopol ETD 2020 с пропиткой фуллеренами C_{60} в 93,7% случаях отмечалось ускорением процессов демаркации и очищения гнойных ран от некротизированных тканей, процессы в большинстве случаев полностью завершались к 12–15 суткам после воспроизведения патологического процесса ($p < 0,05$). Во всех случаях струп и некротизированные ткани отторгались целиком, под ними обнажалась поверхность с новообразованными грануляциями, практически без отделяемого. После отторжения струпа происходило рубцовое стяжение ран, в 93,7% наблюдения последние заживали к 32 суткам наблюдения, за счет краевой эпителизации.

Результаты гистологического исследования свидетельствуют, о том что в случаях местного лечения гнойно-некротических процессов на фоне декомпенсированного диабета геля карбополов, содержащего нанокomпоненты (фуллерены) в 87,9% наблюдений уже с первых-вторых суток после воспроизведения гнойного процесса в коже и начала местного применения препаратов, в зоне поражения и прилегающих тканях происходило формирование воспалитель-

ного инфильтрата из макрофагов и нейтрофильных гранулоцитов. К 10 суткам констатирован активный фагоцитоз поврежденных соединительнотканых и мышечных волокон, их замещение молодыми новообразованными грануляциями (рис.). Зона вторичного некроза ни в одном из наблюдений на фоне применения геля с фуллеренами не достигала мышечной пластинки дермы, ее толщина соответствовала границе $1,1 \pm 0,2$ мм. Также в 87,9% случаев к 3–5 суткам после воспроизведения гнойной раны и местного применения модифицированного геля Carbopol ETD 2020 в глубоких слоях собственно кожи (сетчатом слое дермы) визуализировались очаги пролиферации кератиноцитов в сохранивших жизнеспособность придатках кожи – волосяных фолликулах, сальных и потовых железах.

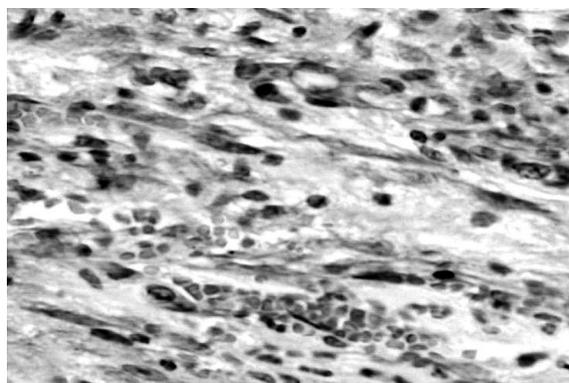


Рис. Кожа крысы спустя 10 суток после воспроизведения гнойно-некротического процесса в коже и подкожно-жировой клетчатке при диабете на фоне применения модифицированного геля Carbopol ETD 2020 с фуллеренами C_{60} . Активный фагоцитоз с развитием соединительной ткани на месте мышечной пластинки. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. $\times 320$

В 83,1% наблюдениях при использовании модифицированных гелей с фуллеренами к 10–12 суткам процесс демаркации и отторжения участков некроза подходил к завершению, к 12–14 суткам его отторжение завершалось, т.е. на 7 суток раньше ($p < 0,05$), чем при использовании антибактериальной мази на водорастворимой основе (левосин). В глубине сетчатого слоя дермы визуализировалось значительное количество новообразованных капилляров, ориентированных вертикально в виде аркад. Как и в случаях местного использования анализируемых гелей с антисептиками (повиарголом и сульфадиазином серебра), при применении фуллеренов к этому сроку в собственно коже (дерме) констатировались группы активированных фибробластов, принимавших горизонтальное положение, активно продуцирующих межклеточное вещество, фибриллярные белки, внеклеточный матрикс. К 14–15 суткам наблюдения, после очищения ран от некротизированных тканей, зона первичного поражения была покрыта грануляционной тканью,

содержащей значительное количество фибриллярных белков, клеточных элементов и новообразованных капилляров в виде аркад. По границе сформированного демаркационного вала в поверхностных слоях растущих грануляций выявлялось значительное количество лимфоцитов, что свидетельствовало о переходе воспаления в его продуктивную фазу.

Одной из основных задач местного консервативного лечения ран у пациентов с синдромом диабетической стопы является предотвращение прогрессирования и рецидива гнойно-некротического процесса, обусловленных раневой инфекцией, патогенными микроорганизмами. В экспериментальных исследованиях изучали чувствительность культуры *Staphylococcus aureus* 209 P in vitro к исследуемым ранозаживляющим препаратам: к дермазину, левомеколю, а также гидрогелям Carbolpol ETD 2020, модифицированным частотно-модулированным сигналом, с пропиткой повиярголом, янтарной кислотой, сульфадиазином серебра с эпидермальным фактором роста, а также природным комплексом фуллеренов C₆₀ (шунгитом). Результаты определения зон задержки роста стандартной культуры *Staphylococcus aureus* 209 P, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о различной способности исследуемых препаратов проявлять свои антимикробные свойства, существенно зависящие от наличия и вида антисептических компонентов, включенных в их состав. В частности, зоны задержки роста культуры стафилококка при использовании повязок с мазью левомеколь (содержит левомецетин) и кремом дермазин (содержит сульфадиазин серебра) составили, соответственно, 10–19 мм и 16–26 мм. При использовании марлевых повязок с модифицированным гелем Carbolpol ETD 2020 с пропиткой повиярголом или сульфадиазином серебра в 17 из 18 наблюдений зоны задержки роста составили, соответственно, 18–34 и 19–33 мм. На-

большая способность к подавлению роста культуры стафилококка отмечена в случае использования гелей с природными фуллеренами C₆₀ (шунгитом, обладающим выраженным бактерицидным действием), анализируемый показатель при этом в зоне применения повязок шириной до 12 мм достигал 36 мм.

Достоверным методом оценки структурно-функционального состояния покровных тканей, кожи, позволяющим провести экспресс-анализ течения процессов репаративной регенерации в очагах гнойно-некротического поражения кожи, является импедансометрия, позволяющая определять суммарное сопротивление тканей в зоне исследования, а также величину их коэффициента поляризации. Установлено, что дистрофические процессы, сопровождающиеся цитолизом, некрозом, а также атрофическими изменениями, приводят к снижению коэффициента поляризации тканей [9].

Результаты оценки коэффициента поляризации (импеданса) пораженных тканей приведены в таблице 3. Показано, что при развитии гнойно-некротического процесса на фоне гипергликемии, сопровождающегося гибелью кожи практически на всю ее толщину снижается величина коэффициента поляризации в ране до 1,6 в 29 из 30 (96,6%) случаев. В 90% наблюдений обработка ран кожи мазевой основой из смеси высокомолекулярных полиэтиленоксидов (массой до 1500 Да) сопровождалась дальнейшим снижением анализируемых показателей, при этом их величины достигали минимальных значений (1,1–1,25 ед.) на 7–8-е сутки наблюдения. Местная обработка ран кремом с сульфадиазином серебра (дермазин), а также мазью с сульфадиазином серебра с эпидермальным фактором роста (эбермин) у 90% животных сопровождалось повышением величины коэффициента поляризации, однако величина различий оказалась недостоверной (p>0,05). При этом анализируемые параметры не отличались от аналогичных величин, констатированных на фоне применения мази из высокомолекулярных полиэтиленоксидов (левосин) более чем на 15–20% (p>0,05). В 96,4% случаев местного применения модифицированного гидрогеля на основе Carbolpol ETD 2020 с пропиткой повиярголом на протяжении всего периода наблюдения (14 суток) отмечались наиболее высокие значения коэффициента поляризации. На фоне применения левосина и дермазина они были выше аналогичного: спустя сутки – на 16–27%, а спустя 14 суток – на 42–52 %, p<0,01 (табл. 3).

Для исключения индивидуальных различий кожи крыс, обусловленных возрастными особенностями и соматическим статусом, измерение величин коэффициента поляризации ран проводилось на смежных симметричных участках кожи спины каждого животного. Во всех 100% наблюдений распределение величины коэффициента соответствовало: полиэтиленоксиды<крем дермазин<гель Carbolpol ETD 2020 с повиярголом. Установлено, что на фоне обработки ран при декомпенсированном диабете гидрогелями карбополов, модифицированных

Таблица 2

Результаты оценки антимикробной активности ранозаживляющих препаратов

Группа животных (в каждой n=9), для обработки повязок использовали	Величина зоны задержки роста <i>S. aureus</i> 209 P (в мм) при ширине повязки	
	6 мм	12 мм
Мазь левомеколь	10,2±0,1	19,3±0,1
Крем дермазин	16,1±0,1	26,4±0,2
Гель без пропитки (контроль)	0	0
Гель с сукцинатом	0	2,2±0,1
Гель с повиярголом	18,5±0,1	34,5±0,3
Гель с сульфадиазином серебра	19,1±0,1	33,3±0,2
Гель с фуллеренами C ₆₀	20,4±0,1	36,1±0,4
Без лечения (контроль)	0	0

Таблица 3

Изменение коэффициента поляризации (импеданса) гнойных ран при гипергликемии с учетом выбора методики лечения, ед. (M±m)

Экспериментальная группа, для лечения ран использовали	Коэффициент поляризации ран в сроки			
	через 5 мин	через 24 ч	через 7 сут	через 14 сут
Мазь левосин	1,6±0,04	1,4±0,04	1,2±0,03	1,4±0,02
Крем дермазин	1,6±0,04	1,6±0,04	1,4±0,03	1,7±0,03
Мазь эбермин	1,6±0,04	1,6±0,03	1,6±0,03	2,1±0,05
Гель Carborol	1,6±0,04	1,9±0,04 1,2	1,9±0,031,2	2,9±0,04 1,2

Примечание: ¹ – различия по сравнению с результатами обработки ран полиэтиленоксидами; ² – по сравнению с группой, лечившейся дермазином, p<0,05. Величина коэффициента поляризации здоровой кожи 3,1–3,27 ед.

частотно-модулированным сигналом с пропиткой серебросодержащим антисептиком повиярголом, происходит более раннее восстановление величины коэффициента поляризации. Это отражает восстановление структурности поврежденной ткани, ускорение процессов её посттравматической регенерации.

Выводы

1. Одним из важных технологических путей повышения эффективности обработки раневых поверхностей при гнойно-некротических поражениях кожи на фоне декомпенсированного диабета (синдром диабетической стопы), может быть местное использование ранозаживляющих рецептур на основе модифицированных частотно-модулированным сигналом гидрогелей высокомолекулярных полимеров акриловой кислоты (Carborol ETD 2020) с пропиткой: повиярголом, сульфадиазином серебра с эпидермальным фактором роста, а также природным комплексом фуллеренов C₆₀.

2. При гнойных ранах на фоне диабета применение мази с сульфадиазином серебра и эпидермальным фактором роста покрытия из целлюлозы с нульвалентным серебром, а также модифицированного геля Carborol ETD 2020 с пропиткой фуллеренами C₆₀ ускорило срок заживления, соответственно, на 6,7; 6,6 и 8,4 суток, т.е. на 17,2–20,5% (p<0,05).

3. В случаях местного применения гелей карбополов с повиярголом или сульфадиазином серебра зоны задержки роста составили, 18–34 и 19–33 мм соответственно. Наибольшая способность к подавлению роста культуры стафилококка при применении геля с фуллеренами в зоне применения повязок шириной до 12 мм достигал 36 мм (p<0,05).

4. Применение модифицированных гидрогелей карбополов с антисептиками приводит к более раннему восстановлению коэффициента поляризации пораженных участков кожи. Так, в 96,4% случаев их местного применения на протяжении 14 суток наблюдаются наиболее высокие значения коэффициента поляризации, которые выше аналогичного на фоне применения левосина и дермазина: спустя сутки – на 16–27%, а спустя 14 суток – на 42–52 %, p<0,01.

5. Очевидна перспектива комплексного подхода в разработке ранозаживляющих рецептур, предназначенных для лечения синдрома диабетической стопы, в основе которого лежит использование многокомпонентных композиций, воздействующих на ключевые патогенетические механизмы репарации.

Литература

1. Глухарев, Н.Ф. Устройство для наложения технофизических воздействий на структурируемые технологические передель / Н.Ф. Глухарев [и др.] // Патент РФ № 2100492 от 27.12.1997. – 9 с.
2. Грекова, Н.М. Хирургия диабетической стопы / Н.М. Грекова, В.Н. Бордуновский. – М.: Медпрактика, 2009. – 142 с.
3. Дедов, И.И. Диабетическая стопа / И.И. Дедов, О.В. Удовиченко, Г.Р. Галстян. – М.: Практ. мед., 2005. – 188 с.
4. Зубарев, П.Н. Морфологические особенности хирургического лечения гнойно-некротических осложнений синдрома диабетической стопы / П.Н. Зубарев, Б.В. Рисман // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2008. – № 4. – С. 41–45.
5. Ивахнюк, Г.К. Гель-основа для косметических и ранозаживляющих средств и способ его получения / Г.К. Ивахнюк [и др.]. Заяв. на выдачу патента РФ № 2011142850, приоритет от 25.10.2011. – 14 с.
6. Липин, А.Н. Хирургическое лечение пациентов с гнойно-некротическими формами синдрома диабетической стопы / А.Н. Липин, А.Б. Белевитин, В.О. Срабионов // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2008. – № 4. – С. 16–19.
7. Рисман, Б.В. Алгоритм диагностики и тактика лечения больных с гнойно-некротическими осложнениями синдрома диабетической стопы / Б.В. Рисман // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2011. – № 1. – С. 129–134.
8. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / под ред. Р.Ю. Хабриева. – М.: Медицина, 2005. – 832 с.
9. Тарусов, Б.Н. Биофизика / Б.Н. Тарусов [и др.]. – М.: Высшая школа, 1968. – 468 с.
10. Фенчин, К.М. Заживление ран / К.М. Фенчин. – Киев: Здоров'я, 1979. – 168 с.
11. Andersen, C.A. Diabetic limb preservation: defining terms and goals / C.A. Andersen // Foot ankle surg. – 2010. – № 1. – P. 106–107.
12. Kida, D. The effect of the composition of stomatological dressings on Carborol and methylcelullose base on pharmaceutical availability of metronidazole / D. Kida, J. Pluta // Polim med. – 2011. – Vol. 41, № 3. – P. 33–38.
13. Moxey, P.M. Epidemiological study of lower limb amputation in England between 2003 and 2008 / P. M. Moxey [et al.] // British journal of surgery. – 2010. – Vol. 97, № 9. – P. 1348–1353.

14. Richard, J.L. Antibiotics in the treatment of wounds in the diabetic foot Article in French / J.L. Richard, S. Schuldiner, N. Jourdan // Soins. – 2010. – Vol. 742. – P. 48–50.
15. Sareen, R. Carbopol-based gels: characterization and evaluation / R. Sareen, S. Kumar, G.D. Gupta // Curr. drug. deliv. – 2011. – Vol. 8, № 4. – P. 407–415.
-

E.V. Zinoviev, G.K. Ivakhnyuk, T.O. Lagvilava

On efficiency of method of hydrogels carbopol in the topical treatment of diabetic foot syndrome

Abstract. In the experiments on rats, we estimated the effect of 0,5% lightly crosslinked hydrogels acrylic polymers (carbopol), antibacterial ointment, based on polyethylene oxide (levomekol), silver-creams (dermazin and argosulfan), silver sulfadiazine ointment with epidermal growth factor (ebermin) wound covering of bacterial cellulose with poviargol with zero-valent silver (aquacell-Ag) on reparative process (time of purification and epithelialization rate, abscesses), the index of healing, as well as the impedance of the skin of rats with diabetes with necrotic skin lesions. It was found that topical application of carbopol hydrogels with antiseptics (poviargol) and nanocomponents (natural complex fullerenes) shortened cleaning wounds amid detritus of decompensated diabetes, as well as their healing by 8.4 days (20.5%, $p < 0.05$), reduces the incidence of abscesses (in 21.3–25.4%, $p < 0.05$), had strong bactericidal activity against the causative agents of wound infections, restored impedance tissues. Hydrogels based on lightly crosslinked acrylic polymers, electrically modified (frequency-modulated signal) ones are very promising basis for wound healing recipes, suitable for the treatment of necrotic lesions on the background of diabetic foot.

Key words: reparative regeneration, diabetic foot syndrome, wound moist healing, hydrogels, carbopol, lightly crosslinked acrylics polymers.

Контактный телефон: +7-960-283-6392; e-mail: evz@list.ru