

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ И БИОПОЛИМЕРНЫХ РАНЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ОЖОГОВ КОЖИ III СТЕПЕНИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

© Е.В. Зиновьев¹, М.С. Асадулаев¹, И.А. Комиссаров¹, М.В. Шемет², В.Е. Юдин², Р.Г. Стояновский¹, Н.В. Смирнова², А.С. Шабунин², С.А. Лукьянов¹, Т.А. Шалоня¹, А.Е. Крюков², И.В. Арцимович¹, Д.В. Костяков¹

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России;

²ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург

Для цитирования: Педиатр. – 2017. – Т. 8. – № 3. – С. 23–31. doi: 10.17816/PED8323-31

Поступила в редакцию: 03.03.2017

Принята к печати: 05.04.2017

В статье приведены результаты применения низкотемпературной холодной атмосферной плазмы, а также разрабатываемых перспективных раневых покрытий на основе нановолокон хитозана и сополиамида, коммерческого гистеобиопластического материала на основе гидрогеля гиалуроновой кислоты при лечении ожогов кожи III степени (МКБ-10) в эксперименте. В ходе первого этапа исследования была разработана оригинальная методика для воспроизведения термического ожога кожи у мелких лабораторных животных (грызунов). Установлено, что применение низкотемпературной холодной атмосферной плазмы позволяет снизить частоту развития гнойных осложнений, а также способствует сокращению сроков восстановления кожного покрова на 20 % ($p < 0,05$), но не обеспечивает достижения результата, констатируемого после выполнения ранних некрэктомий и замещения дефектов гистеопластическими материалами на основе природных полимеров. Показано, что раневые покрытия на основе алифатического сополиамида и хитозана, а также гидрогеля гиалуроновой кислоты позволяют достоверно ускорить процессы репаративной регенерации и гистеогенеза в зоне термического ожога кожи после некрэктомии на 14,6–46 % ($p < 0,05$).

Ключевые слова: глубокие термические ожоги кожи; низкотемпературная атмосферная плазма; раневые покрытия; восстановление кожного покрова; алифатический сополиамид; хитозан; нанофибриллы хитина; гидрогель гиалуроновой кислоты.

COMPARATIVE ASSESMENT OF EFFICIENCY APPLICATION COLD ATMOSPHERIC PLASMA AND BIOPOLYMEROUS COATS EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS FOR THE TREATMENT OF SKIN BURNS OF III DEGREE IN EXPERIMENT

© E.V. Zinovev¹, M.S. Asadulaev¹, I.A. Komissarov¹, M.V. Shemet², V.E. Yudin², R.G. Stoyanovskiy¹, N.V. Smirnova², A.S. Shabunin², S.A. Lukyanov¹, T.A. Shalonya¹, A.E. Kryukov², I.V. Artsimovich¹, D.V. Kostyakov¹

¹St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Russia;

²Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

For citation: *Pediatrician (St Petersburg)*, 2017;8(3):23-31

Received: 03.03.2017

Accepted: 05.04.2017

The results of application of low temperature cold atmospheric plasma, as well as develop a experimental wound dressing based on chitosan nanofibers and copolyamide, commercial wound dressing material based on a hydrogel of hyaluronic acid in the treatment of skin burns of III degree (ICD-10) in the experimental study. In carrying out the work during the first phase of the study developed an original method for infliction of thermal burn of the skin of small laboratory animals (rodents). Temperature of dehaired skin and temperature of heated by resistive electrical element metal plate was detected by sensor of digital thermometer. Source for generation of cold atmospheric plasma was made by specialists of Saint Petersburg Polytechnic university of Peter the Great. Biopsy material for histological essay was taken on 3, 7, 12, 15, 21, 28 days after treatment. Paraffinic microscopic sections was performed with hematoxylin and eosin, after this microscopic essay was made. The use of low temperature cold atmospheric plasma allows to decrease the frequency of purulent complications, and also helps to reduce the recovery time of the skin by 20% ($p < 0.05$), but not sufficient to achieve the result that has been proclaimed after an early echartectomy and replacement of surgical defects by wound dressing materials based on natural polymers. It is shown that the

wound dressing based on aliphatic copolyamide and chitosan and hydrogel of hyaluronic acid can help significantly accelerate the process of reparative regeneration and histogenesis in the heat-affected zone after echartomy up to 14.6-46% ($p < 0.05$).

Keywords: deep thermal burns to the skin; cold atmospheric plasma; wound coverings; regeneration of the skin; aliphatic copolyamide; chitosan; chitin nanofibrils; the hydrogel of hyaluronic acid.

ВВЕДЕНИЕ

Современная тактика лечения ожогов является мультидисциплинарной, реализуется с учетом патогенеза ожоговой болезни и ее осложнений [1, 2]. Современные методы лечения глубоких термических повреждений кожи не позволяют добиваться излечения пострадавших с критическими поражениями во всех случаях, оставляя ряд нерешенных вопросов, прежде всего в плане выбора быстрого и эффективного метода восстановления кожного покрова при таких поражениях [3, 4, 9]. На сегодняшний день в ожоговых стационарах используется активная хирургическая тактика, принципиальной основой которой является ранняя некрэктомия с последующей ауодермопластикой ожоговых ран [2, 10]. Профилактике инфекции при ожогах уделяется особое место [5, 12]. Одним из возможных путей улучшения результатов лечения, повышения эффективности способов восстановления кожного покрова пациентов с обширными глубокими ожогами является использование природных полимеров, нанобиокомпози́тов в сочетании с методами физического воздействия на раневую поверхность, в частности применение с этой целью низкотемпературной атмосферной плазмы [6, 7, 11, 13, 15].

К биологическим эффектам низкотемпературной атмосферной плазмы низкого давления относят антимикробный и гемостатический эффекты, а также стимуляцию тканевой регенерации [8, 14]. Антибактериальное действие обусловлено повреждением клеточной стенки и мембраны бактерий излучением ультрафиолетового спектра и активными радикалами [14]. В отличие от имеющихся методов физического воздействия остановки кровотечения (электрокоагуляция, аргоноплазменная коагуляция), низкотемпературная атмосферная плазма не повреждает ткани, а обеспечивает гемостаз за счет ускорения активации и агрегации тромбоцитов, образования фибринового сгустка. Вопрос о непосредственном влиянии низкотемпературной атмосферной плазмы низкого давления на регенерацию тканей при повреждении остается дискуссионным [14, 16]. Часть исследователей отмечают ускорение пролиферации фибробластов *in vitro* при таком воздействии. Имеются публикации, в которых стимуляция регенерации поврежденных тканей объясняется сочетанием антибактериального и гемостатического эффектов плазмы [14, 16].

Таким образом, имеющиеся данные позволяют надеяться, что применение низкотемпературной атмосферной плазмы низкого давления может быть перспективным для лечения глубоких ожогов кожи.

Цель настоящего исследования — изучение влияния низкотемпературной атмосферной плазмы и экспериментальных раневых покрытий на репаративный гистогенез при глубоких ожогах кожи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная работа выполнена на 40 самцах крыс линии Wistar-Kyoto массой 230–250 г. Все манипуляции с животными осуществляли под общим ингаляционным (эфирным) наркозом в асептических условиях. Воспроизведение ожога кожи III степени (МКБ-10) осуществляли по собственной оригинальной методике (рационализаторское предложение ВМедА № 14287/1 от 19.01.2016). После подготовки операционного поля животное фиксировали к лабораторному столу. Разметку площади ожога осуществляли трафаретом площадью 16 см² (10 % площади тела крысы). На депилированной коже спины животного датчиком электротермопары мультиметра Electroline (Китай) определяли температуру кожи и металлической пластины, нагреваемой через резистивный нагревательный элемент (рис. 1, 2). Время экспозиции — 10 с при температуре на поверхности кожи — 95–97 °С (рис. 3, 4).

Для генерации низкотемпературной атмосферной плазмы низкого давления использовали аппарат, изготовленный специалистами кафедры высоких напряжений, электроизоляционной и кабельной техники Института энергетики и транспортных систем Санкт-Петербургского политехнического уни-

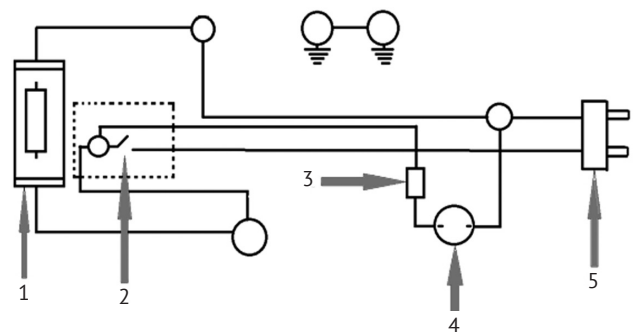


Рис. 1. Схема нагревательного элемента для воспроизведения термического ожога. 1 — нагревательный элемент, 2 — терморегулятор, 3 — резистор, 4 — лампа индикатора, 5 — сетевая вилка

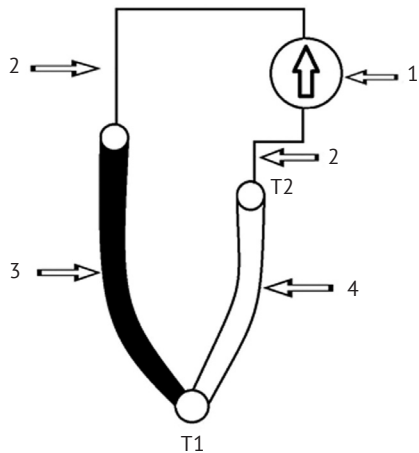


Рис. 2. Схема термодатчика для дозирования высокотемпературного воздействия. 1 — измерительный прибор, 2 — соединительные провода, 3, 4 — термоэлектроды



Рис. 4. Кожа крысы после воспроизведения ожога III степени

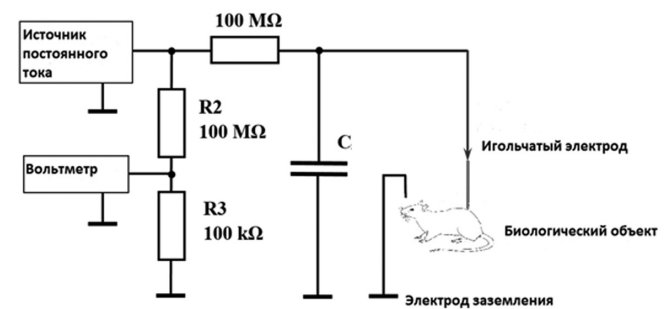


Рис. 3. Схема генератора низкотемпературной атмосферной плазмы низкого давления

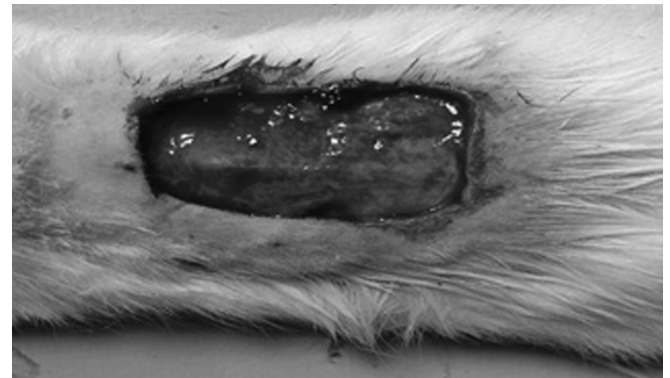


Рис. 5. Раневая поверхность после выполнения некрэктомии

верситета Петра Великого (СПбПУ). Устройство можно удерживать в руках, а касание пучка плазмы к биологическому объекту не приводит к электрофизическому воздействию тока.

Питание устройства осуществляется от источника постоянного тока. Выходное напряжение может быть изменено в пределах до 20кВ. Источник тока последовательно соединен с игольчатым стальным электродом (диаметр наконечника — 50 мкм) через резистор емкостью 120 МОм (рис. 3).

При запуске генератора происходит генерация пучка плазмы между наконечником электрода и биологическим объектом, который по своей физической сути сходен с положительным коронным разрядом.

Животные были разделены на пять групп (по 8 особей) с учетом метода лечения.

В первой группе животных спустя 60 минут после ожога III степени проводили некрэктомию (рис. 5) до собственной фасции.

Сразу после некрэктомии края раны фиксировали к подлежащим тканям узловыми швами, затем

проводили обработку всей раневой поверхности низкотемпературной атмосферной плазмой в течение 10 минут. Расстояние между источником пучка и раневой поверхностью — 0,5–1 см (рис. 6).

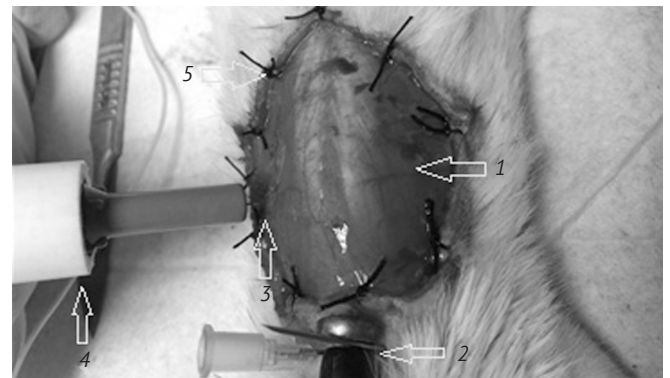


Рис. 6. Этап обработки раневой поверхности низкотемпературной атмосферной плазмой: 1 — раневая поверхность; 2 — заземление; 3 — пучок холодной атмосферной низкотемпературной плазмы; 4 — ручка аппарата с изоляцией; 5 — одиночные кожно-мышечные швы для предупреждения контракции ран

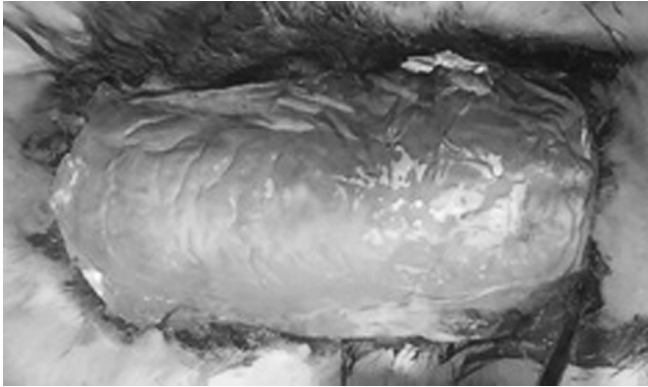


Рис. 7. Аппликация раневого покрытия на основе алифатического сополиамида и хитозана

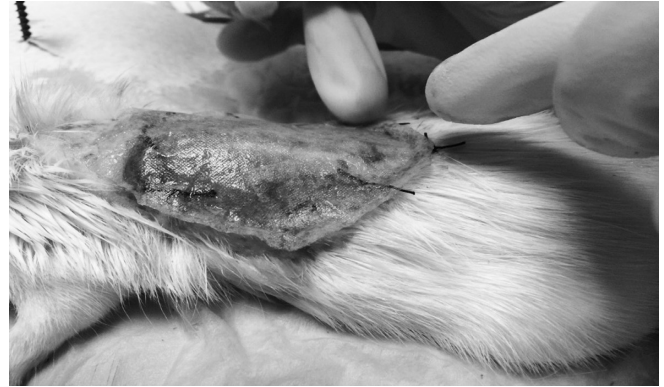


Рис. 8. Фиксация раневого покрытия на основе гидрогеля гиалуроновой кислоты

Во второй и третьей группах животных спустя 60 минут после травмы выполняли радикальную некрэктомию до фасции и аппликацию раневых покрытий на основе природных полимеров (рис. 5–8).

Во второй группе лечение ран осуществлялось с использованием экспериментальных раневых покрытий на основе алифатического сополиамида и хитозана производства СПбПУ (рис. 7).

В третьей группе раневую поверхность замещали раневыми покрытиями на основе гидрогеля гиалуроновой кислоты производства ООО ДЖИ-групп, РФ (рис. 8). Их дополнительную фиксацию осуществляли кожным клеем Dermabond (Германия).

В четвертой группе раннюю некрэктомию и лечение ран животных не осуществляли (контроль).

В пятой группе проводилась ранняя некрэктомию без лечения ран (контроль 2).

Оценку эффективности избранных методик лечения и фотографирование ран проводили каждые трое суток. Выполняли осмотр ран, отмечали характер отделяемого, наличие и вид грануляций, фиксировали сроки отторжения струпа и заживления раневых поверхностей. Планиметрическим методом Л.Н. Поповой определяли площадь раны и вычисляли индекс заживления по следующей формуле (Фенчин К.И., 1979):

$$\frac{(S - S_n) \times 100}{S \times T},$$

где S — площадь раны при предыдущем измерении, мм²; S_n — площадь раны при данном измерении, мм²; T — интервал между измерениями, сут.

Отбор биоптатов для гистологического исследования осуществляли на 3, 7, 12, 15, 21, 28-е сутки лечения. Биоптаты фиксировали в 10 % растворе нейтрального формалина с последующей проводкой через спирты восходящей концентрации (30–100 %) и заливкой в парафин. Парафиновые срезы окраши-

вали гематоксилином и эозином с дальнейшим их исследованием методами светооптической микроскопии.

Обработка полученных результатов проводилась в соответствии с общепринятыми методами вариационной статистики. Критерием достоверности считали величину $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выполнение радикальной хирургической некрэктомии в зоне глубокого ожога кожи без последующего лечения позволяет сократить площадь раны на 21-е сутки до 8 см² ($p < 0,05$), процесс регенерации ускоряется на 8,6 %, к 28-м суткам происходит уменьшение площади рубца на 10 % ($p < 0,05$) по сравнению с группой контроля.

Процесс регенерации в зоне глубокого ожога III степени при использовании низкотемпературной атмосферной плазмы низкого давления имел существенные особенности. На 21-е сутки исследования в этой группе животных отмечено сокращение площади раны до 6 см² ($p < 0,05$). Обработка ожоговой раны после ранней некрэктомии позволяет ускорить процессы регенерации в раннем послеоперационном периоде на 20 % ($p < 0,05$), а также уменьшить площадь рубца на 28-е сутки наблюдения на 52,5 % ($p < 0,05$) по сравнению с группой контроля (рис. 9, табл. 1).

Применение ранней некрэктомии и последующее использование раневых покрытий на основе алифатического сополиамида и гиалуроновой кислоты оказалось более эффективным. При замещении дефекта покрытием из хитозана и сополиамида к исходу третьей недели исследования в этой группе животных отмечено сокращение площади раны до 2,8 см² ($p < 0,05$), на 28-е сутки наблюдения по сравнению с группой контроля констатировано ускорение процессов регенерации на 42,8 % ($p < 0,05$), а также сокращение площади рубца на

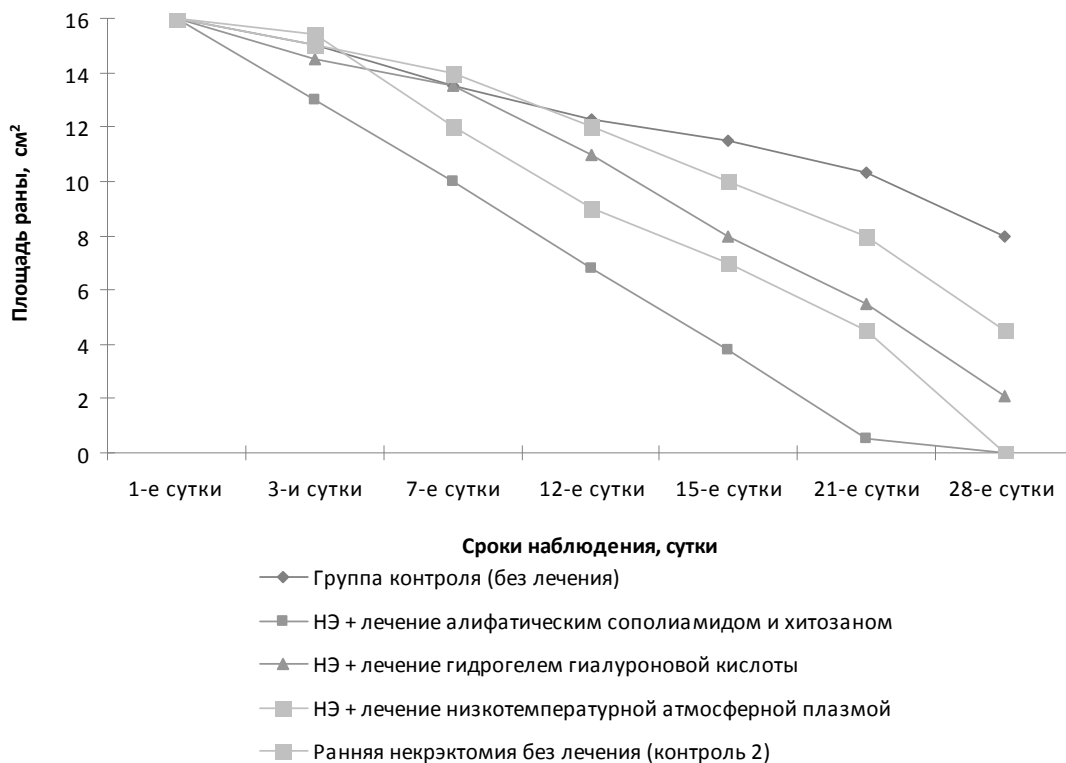


Рис. 9. Динамика площади ожоговой раны с учетом метода лечения

Таблица 1

Планиметрическая оценка ран с учетом методик лечения

Группы исследования	Срок заживления, сутки	Площадь рубца, см ²
Контрольная группа	35 ± 2,9	5 ± 0,1
Низкотемпературная атмосферная плазма + НЭ	28 ± 2,1	3,8 ± 0,4*
Хитозан-сополиамид + НЭ	20 ± 3,4*	2,8 ± 0,7*
Гиалуроновая кислота + НЭ	30 ± 0,8**	2,1 ± 0,4*
Некрэктомия без лечения (контроль 2)	32 ± 1,6**	4,5 ± 0,8

Примечание: НЭ — некрэктомия; * достоверно ($p < 0,05$) по сравнению с животными контрольной группы; ** достоверно ($p < 0,05$) по сравнению с хитозан-сополиамидом после некрэктомии

65 % ($p < 0,05$). При использовании для закрытия ран после некрэктомии покрытия на основе гиалуроновой кислоты отмечены следующие результаты: к исходу третьей недели исследования в этой группе животных отмечено сокращение площади раны до 5 см² ($p < 0,05$), по сравнению с группой контроля констатировано ускорение процессов регенерации на 14,3 % ($p < 0,05$), а также сокращение площади рубца на 71,3 % ($p < 0,05$) на 28-е сутки наблюдения. К этому сроку наибольшая площадь дефекта закономерно отмечалась в контрольной группе животных, лечение которых не проводилось, — 8 см².

Результаты планиметрических исследований были подтверждены при морфометрической оценке числа сосудов микроциркуляторного русла в биоптатах ран к исходу 35-х суток наблюдения. Анализируемый показатель оказался на 46,2 % больше в группе животных, перенесших хирургическую некрэктомия и последующее замещение ран раневыми покрытиями на основе гидрогеля гиалуроновой кислоты ($p < 0,05$). Среднее число микрососудов в растущих грануляциях на фоне обработки раны низкотемпературной атмосферной плазмой было равно 5 (рис. 10). Выполнение ранней некрэктомии без последующего лечения позволяет увеличить ко-

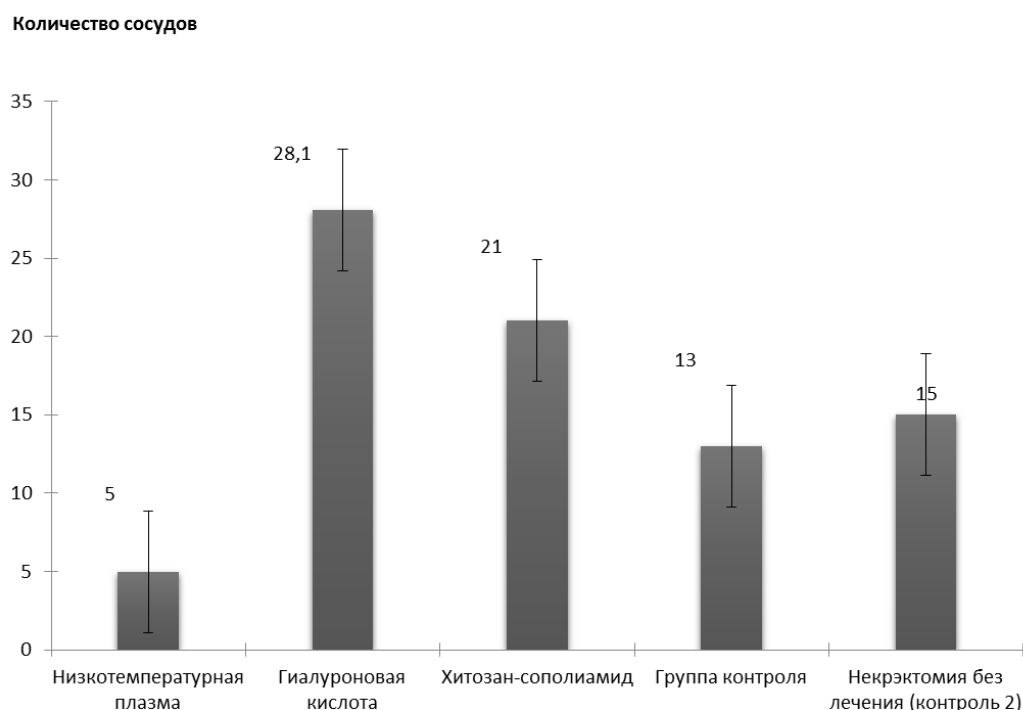


Рис. 10. Число микрососудов в поле зрения с учетом метода лечения

Таблица 2

Толщина новообразованных грануляций с учетом метода лечения

Группы исследования	Толщина ткани, мкм
Группа контроля (без лечения)	1090,4 ± 25,9 ***
Лечение алифатическим сополиамидом и хитозаном	1676,2 ± 67,1 *, ***
Лечение гидрогелем гиалуроновой кислоты	1273,4 ± 49,7 *
Лечение низкотемпературной атмосферной плазмой	1145,1 ± 44,3 **
Ранняя некрэктомия (без лечения)	1100,4 ± 71,7

Примечание: * достоверно ($p < 0,05$) по сравнению с контролем; ** достоверно ($p < 0,05$) по сравнению с хитозаном/сополиамидом после некрэктомии; *** достоверно ($p < 0,05$) по сравнению с гиалуроновой кислотой после некрэктомии

личество сосудов на 13,4 % по сравнению с группой контроля ($p < 0,05$).

При морфометрической оценке толщины новообразованной грануляционной ткани в области дефекта на 35-е сутки наблюдения установлено, что при обработке раневой поверхности низкотемпературной атмосферной плазмой значения анализируемого показателя оказалось 1145 мкм, что на 4,8 % больше, чем в контроле ($p < 0,01$). Ранняя некрэктомия без последующего лечения позволяет увеличить толщину новообразованной грануляционной ткани в области дефекта на 1 % по сравнению с группой контроля. Раннее закрытие раневой поверхности после некрэктомии позволяет увеличить толщину новообразованной грануляции на 17 и 37 % в группах животных, перенесших раннюю

некрэктомию и последующее ведение ран с использованием покрытий из хитозана/сополиамида и гиалуроновой кислоты соответственно. Можно заключить, что применение раневых покрытий позволяет обеспечить развитие полноценной соединительной ткани в зоне глубокого термического ожога в более ранние сроки (табл. 2).

ВЫВОДЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют, что использование низкотемпературной атмосферной плазмы без дальнейшей аппликации раневых покрытий позволяет достичь заживления ран к 28-м суткам, то есть ускорить процессы регенерации на 20 % ($p < 0,05$), а также сократить площадь рубца на 52,5 % ($p < 0,05$) по сравнению с резуль-

татами, отмеченными в контрольной группе животных. На фоне применения низкотемпературной атмосферной плазмы в биоптатах отмечается более раннее развитие зрелой соединительной ткани, толщина новообразованных грануляций превышает контрольные на 4,8 % ($p < 0,01$). Ранняя некрэктомия без последующего лечения позволяет сократить площадь раны на 21-е сутки до 8 см², процесс регенерации ускоряется на 8,6 % ($p < 0,05$), к 28-м суткам происходит уменьшение площади рубца на 10 % ($p < 0,05$) по сравнению с группой контроля. Применение раневых покрытий на основе алифатического сополиамида и хитозана в зоне глубоких термических ожогов после их некрэктомии позволяет достичь полного заживления раны уже к 20-м суткам, ускоряя процессы регенерации на 42,8 % ($p < 0,05$), площадь рубца при этом уменьшается на 65 % ($p < 0,05$). Использование в этих же условиях раневых покрытий на основе гидрогеля гиалуроновой кислоты позволяет сократить сроки заживления на 14,3 % ($p > 0,05$) и площадь рубца на 71,3 % ($p < 0,05$).

Применение низкотемпературной атмосферной плазмы в лечении глубоких термических ожогов кожи III степени (МКБ-10) представляется перспективным методом. Данные литературы свидетельствуют, что местное применение низкотемпературной атмосферной плазмы низкого давления в зоне дефекта кожи позволяет реализовать антимикробное и гемостатическое действие, стимуляцию тканевой регенерации. Эти явления обусловлены генерацией свободных радикалов, УФ-излучением, заряженными частицами [8, 14, 16]. Результаты наших исследований свидетельствуют, что применение плазмы в зоне глубокого ожога III степени позволяет сократить площадь рубца на 52,5 % ($p < 0,05$), однако не обеспечивает достижения результата, получаемого при выполнении ранних некрэктомий. Ранняя некрэктомия и одномоментное закрытие раневой поверхности раневым покрытием на основе природных полимеров позволяет достоверно сократить сроки заживления. В следующей серии экспериментов планируется провести оценку эффективности сочетания местного применения плазмы после некрэктомии с использованием раневых покрытий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 14-33-00003.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.А. Современные технологии местного консервативного лечения пострадавших от ожогов / А.А. Алексеев, А.Э. Бобровников // *Анналы хирургии*. – 2012. – № 2. – С. 32–38. [Alekseev AA. *Sovremennye tekhnologii mestnogo konservativnogo lecheniya postradavshikh ot ozhogov*. *Annaly khirurgii*. 2012;(2):32-38. (In Russ.)]
2. Алексеев А.А. Современные методы лечения ожогов и ожоговой болезни / А.А. Алексеев // *Комбустиология*. – 1999. – № 1. [Alekseev AA. *Sovremennye metody lecheniya ozhogov i ozhogovoy bolezni*. *Combustiologya*. 1999;(1). (In Russ.)]
3. Бобровников А.Э. Технологии местного консервативного лечения обожженных: автореф. дис... канд. мед. наук / А.Э. Бобровников. – М., 2012. – 17 с. [Bobrovnikov AE. *Tekhnologii mestnogo konservativnogo lecheniya obozhzhennykh*. [dissertation] Moscow; 2012. (In Russ.)]
4. Будкевич Л.И. Опыт применения клеточной технологии у детей с глубокими ожогами кожи / Л.И. Будкевич, Т.А. Королёва // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2013. – Т. 11. – № 4–3. – С. 54–59. [Budkevich LI. *Opyt primeneniya kletochnoy tekhnologii u detey s glubokimi ozhogami kozhi*. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2013;11(4-3):54-59 (In Russ.)]
5. Гурьянов А.М. Профилактика инфекционных осложнений у обожженных // *Саратовский научно-медицинский журнал*. – 2007. – Т. 3. – № 4. – С. 133–137. [Gur'yanov AM. *Profilaktika infektsionnykh oslozhneniy u obozhzhennykh*. *Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal*. 2007;3(4):133-137. (In Russ.)]
6. Зиновьев Е.В. Биопластические дермотерапевтические системы на основе гидроколлоида гиалуроновой кислоты и пептидного комплекса / Е.В. Зиновьев, Р.Р. Рахматуллин, А.В. Апчел // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. – 2014. – Т. 45. – № 1. – С. 147–151. [Zinovyev EV. *Bioplasticheskie dermatoterapevticheskie sistemy na osnove gidrokolloida gialuronovoy kisloty i peptidnogo kompleksa*. *Vestnik Rossiyskoy Voенno-meditsinskoy akademii*. 2014;45(1):147-151. (In Russ.)]
7. Калмыкова Н.В. Биопластический материала на основе гиалуроновой кислоты как матрица для создания биомедицинских клеточных экспресс-продуктов для восстановления кожи / Н.В. Калмыкова, О.Г. Спичкина, В.Н. Эллиниди // *Гены и клетки*. – 2014. – Т. 9. – № 2. – С. 68–75. [Kalmykova NV, Spichkina OG, Ellinidi VN. *Bioplasticheskiy material na osnove gialuronovoy kisloty kak matritsa dlya sozdaniya biomeditsinskikh kletochnykh ekspress-produktov dlya vosstanovleniya kozhi*. *Geny i kletki*. 2014;9(2):68-75. (In Russ.)]
8. Подойницына М.Г. Применение физических методов при лечении ожогов кожи / М.Г. Подойницына, В.Л. Цепелев, А.В. Степанов // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 5. [Podoynitsyna MG. *Primeneniye fizicheskikh metodov*

- pri lechenii ozhogov kozhi. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015;(5). (In Russ.)]
9. Подойницына М.Г. Изменение микроциркуляции при дермальных ожогах / М.Г. Подойницына, В.Л. Цепелев, А.В. Степанов // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 1–9. – С. 1893–1896. [Podoynitsyna MG. Izmenenie mikrotsirkulyatsii pri dermal'nykh ozhogakh. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015;(1-9):1893-1896. (In Russ.)]
 10. Филимонов К.А. Совершенствование местного лечения ран у больных с локальными ожогами: дис. ... канд. мед. наук / К.А. Филимонов. – Самара, 2013. – 144 с. [Filimonov KA. Sovershenstvovanie mestnogo lecheniya ran u bol'nykh s lokal'nyimi ozhogami. [dissertation] Samara, 2013; 144 p. (In Russ.)]
 11. Цепелев В.Л. Влияние регуляторных пептидов на продукцию провоспалительных цитокинов / В.Л. Цепелев, А.В. Степанов // *Забайкальский медицинский вестник*. – 2015. – № 2. – С. 147–150. [Tsepelev VL, Stepanov AV. Vliyanie regulyatornykh peptidov na produktsiyu provospalitel'nykh tsitokinov. *Zabaykal'skii meditsinskiy vestnik*. 2015(2):147-150. (In Russ.)]
 12. Abdelgawad AM, Hudson SM, Rojas OJ. Antimicrobial wound dressing nanofiber mats from multicomponent (chitosan/silver-NPs/polyvinyl alcohol) systems. *Carbohydrate Polymers*. 2014;100:166-178. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.12.043.
 13. Busilacch A, Gigante A, Mattioli-Belmonte M. Chitosan stabilizes platelet growth factors and modulates stem cell differentiation toward tissue regeneration. *Carbohydrate Polymers*. 2013;98(1):665-676. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.06.044.
 14. Mounir L. Low-temperature plasmas for medicine? *IEEE transactions on plasma science*. 2009;37(6):714-25.
 15. Shukla SK, Mishra AK, Arotiba OA. Chitosan-based nanomaterials: A state-of-the-art review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2013;59:46-58. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2013.04.043.
 16. Shu Qun W, Lu Xin Pei. A touchable pulsed air plasma plume driven by DC power supply. *IEEE transactions on plasma science*. 2010;38(12):3404-3408.

◆ Информация об авторах

Евгений Владимирович Зиновьев – д-р мед. наук, профессор, кафедра госпитальной хирургии с курсами травматологии и ВПХ. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: evz@list.ru.

Марат Сергеевич Асадулаев – кафедра хирургических болезней детского возраста. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: marat.asadulaev@yandex.ru.

Игорь Алексеевич Комиссаров – д-р мед. наук, профессор, заведующий, кафедра хирургических болезней детского возраста. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: komissarov_i_a@mail.ru.

Михаил Вячеславович Шемет – канд. техн. наук, доцент. Институт энергетике и транспортных систем, кафедра техники высоких напряжений, электроизоляции и кабельной техники, ФГАОУ «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург. E-mail: mvshemet@gmail.com.

Владимир Евгеньевич Юдин – д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций, кафедра медицинской физики, лаборатория полимерных материалов для тканевой инженерии и трансплантологии, ФГАОУ «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург. E-mail: yudinve@gmail.com.

Антон Сергеевич Шабунин – Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций, кафедра медицинской физики, лаборатория полимерных материалов для тканевой инженерии и трансплантологии, ФГАОУ «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург. E-mail: anton-shab@yandex.ru.

◆ Information about the authors

Evgeny V. Zinovyev – MD, PhD, Dr Med Sci Professor, Department of Hospital Surgery with Traumatology and Military Surgery Courses. St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: evz@list.ru.

Marat S. Asadulaev – Department of Surgical Diseases of Childhood. St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: marat.asadulaev@yandex.ru.

Igor A. Komissarov – MD, PhD, Dr Med Sci Professor, Head, Department of Surgical Diseases of Childhood. St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: komissarov_i_a@mail.ru.

Mikhail V. Shemet – PhD, Associate Professor. Department of High Voltage Engineering, Electrical Insulation and Cable Technology, Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: mvshemet@gmail.com.

Vladimir E. Yudin – Dr Sci Professor, Head. Institute of Physics, Nanotechnology and Telecommunications, Department of Medical Physics, Laboratory of Polymeric Materials for Tissue Engineering and Transplantology, Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: yudinve@gmail.com.

Anton S. Shabunin – Institute of Physics, Nanotechnology and Telecommunications, Department of Medical Physics, Laboratory of Polymeric Materials for Tissue Engineering and Transplantology, Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: anton-shab@yandex.ru.

◆ Информация об авторах

Наталья Владимировна Смирнова — канд. биол. наук, научный сотрудник. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций, кафедра медицинской физики, лаборатория полимерных материалов для тканевой инженерии и трансплантологии, ФГАОУ «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург. E-mail: nvsmirnoff@yandex.ru.

Артем Евгеньевич Крюков — Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций, кафедра медицинской физики, лаборатория полимерных материалов для тканевой инженерии и трансплантологии, ФГАОУ «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург. E-mail: kryukov14@gmail.com.

Сергей Андреевич Лукьянов — кафедра хирургических болезней детского возраста. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: stalker125lu@yandex.ru.

Роман Григорьевич Стояновский — ассистент, кафедра анатомии человека. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: explabgpmu@gmail.com.

Татьяна Александровна Шалоня — канд. мед. наук, ассистент, кафедра патологической анатомии с курсом судебной медицины. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: tanyaiudina@mail.ru.

Илья Валерьевич Арцимович — кафедра хирургических болезней детского возраста. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: enerdgezer@yandex.ru.

Денис Валерьевич Костяков — кафедра патологической физиологии с курсами иммунопатологии и медицинской информатики. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: kostyakovdv@gmail.com.

◆ Information about the authors

Natalia V. Smirnova — PhD Researcher. Institute of Physics, Nanotechnology and Telecommunications, Department of Medical Physics, Laboratory of Polymeric Materials for Tissue Engineering and Transplantation, Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: nvsmirnoff@yandex.ru.

Artem E. Kryukov — Institute of Physics, Nanotechnology and Telecommunications, Department of Medical Physics, Laboratory of Polymeric Materials for Tissue Engineering and Transplantation, Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: kryukov14@gmail.com.

Sergey A. Lukyanov — Department of Surgical Diseases of Childhood. St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: stalker125lu@yandex.ru.

Roman G. Stoyanovskiy — Assistant Professor, Department of Human Anatomy. St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: explabgpmu@gmail.com.

Tatiana A. Shalonia — MD, PhD, Assistant Professor, Department of Pathological Anatomy at the Rate of Forensic Medicine. St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: tanyaiudina@mail.ru.

Ilya V. Artsimovich — Department of Surgical Diseases of Childhood. St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: enerdgezer@yandex.ru.

Denis V. Kostyakov — Department of Pathologic Physiology Courses Immunopathology and Medical Informatics. St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: kostyakovdv@gmail.com.