

# 03, март 2016

УДК 617.089

## Методы лечения синдрома диабетической стопы. Обзор

*Кузнецов Д.В., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
кафедры «Медико-технический менеджмент»*

*Научный руководитель: Моргунов Г.Н, доцент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
кафедра «Медико-технический менеджмент»*

*[bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)*

### Введение

Каждый год сахарный диабет становится все большей проблемой для человечества. По данным Всемирной организации здоровья в 2014 году уровень заболеваемости диабетом составил 9% среди взрослого населения 18 лет и старше, в 2012 году случилось 1,5 миллиона смертей из-за диабета, как первого, так и второго типа. Более 75% случаев происходит в странах с проблемой бедности из-за отсутствия медикаментов и квалифицированной медицинской помощи. По прогнозам ВОЗ, в 2030 году диабет станет седьмой по значимости причиной смерти. Таким образом, сахарный диабет становится медико - социальной проблемой.

Диабет характеризуется большим количеством осложнений: ретинопатия, ангиопатия, полинейропатия, диабетическая стопа и т.д. Синдром диабетической стопы характеризуется нарушением углеводного обмена, приводящего к изменению периферического кровотока, иннервации, развитию трофических язв, что может привести к гангрене, а в последствии к необходимости ампутации конечности [2].

Основной лечения хронических ран нижних конечностей у больных сахарным диабетом является компенсация углеводного обмена. Лечебная стратегия включает контроль гликемии, средства патогенетической терапии, коррекцию ишемии и местное лечение, также обработка ран и язв, вызванных синдромом диабетической стопы[3]. Именно эти раны и могут привести к серьезным осложнениям (гангрене), при которой необходимо будет ампутировать конечность.

Следовательно обработке ран нужно уделять большое внимание. Обработка дна раны переводит рану из состояния хронической раны в состояние острой и способствует активации эндогенных процессов регенерации тканей. Обработки необходимы из-за ряда причин. Прежде всего, наличие некротических тканей и пленки фибрина является потенциальным субстратом развития инфекционных осложнений. Кроме того, клеточные линии, находящиеся в крае хронической раны, претерпевают фенотипичную трансформацию, ведущую к нарушению процессов регенерации. [3] В наше время применяются большое количество разных методов очищения и обработки ран при синдроме диабетической стопы. В работе будут рассмотрены самые эффективные из них.

### **Обзор методов обработки раны при синдроме диабетической стопы.**

Одним из самых важных этапов лечения синдрома диабетической стопы является обработка раны. В наше время применяют большое количество разных способов обработки ран. Наиболее распространенными являются: хирургический, аутолитический, ферментивный и химический методы. Наиболее подробно они описаны в работе А.Ю. Токмакова и его коллег [4].

Аутолитическое очищение происходит в той или иной мере в любой ране. Это высокоизбирательный процесс, в который вовлечены макрофаги и эндогенные протеолитические ферменты, вызывающие размягчение и самопроизвольное отделение некротизированных структур и струпа от здоровой ткани. Большой плюс этого метода в том, что очищение происходит без какого либо внешнего влияния. Но в то же время, если рана не будет очищена полностью, возможно развитие воспалительных и других нежелательных процессов.

Наиболее эффективным и быстрым способом является хирургическое удаление некротических тканей. При обработке поверхности раны скальпелем удаляются старые и стареющие клетки, уменьшается бактериальное обсеменение, преобразовывая незаживающую хроническую рану в острую в пределах пораженной зоны. Хирургическая обработка проводится обычно при обширном и глубоком распространении инфекции, когда должны быть удалены инфицированные и костные ткани или при сепсисе. Это метод также применяется для нейропатических диабетических язв с грубыми гиперкератозными краями. Хирургическая обработка обычно проводится под местной анестезией, т.к. может быть болезненной. Также стоит учитывать, что данная манипуляция может приводить к кровотечению, а также к повреждению сухожилий и нервов. Эта манипуляция может потребовать местной анестезии.

Данная процедура должна выполняться опытным хирургом, требует особой профессиональности и осторожности, т.к. может вызвать осложнение у пациентов, особенно у людей с ослабленным иммунитетом и риска формирования больших открытых ран, способствующих развитию возможных инфекционных заболеваний.

Ферментивное очищение раны происходит за счет действия эндогенных ферментов: эластазы, коллагеназы, миелопероксидазы, кислой гидролазы и ферментов лизосом. Данный метод использует наносимые на поверхность раны препараты, которые работают в совместно с эндогенными энзимами. Данный способ наиболее подходящий для удаления струпа на больших ранах, где не возможно использование хирургической обработки. Перед нанесением ферментов иногда необходим хирургический надрез. Также необходимо понимать, что в иногда применение этих средств может привести к избыточному образованию экссудата, местному раздражению окружающей кожи и к развитию инфекции.

В последнее время набирает популярность механическая обработка раны с помощью специальных увлажняющих повязок сочетающих интенсивное увлажнение раны с физическим удалением детрита. Вихревые ванны способствуют разрыхлению и удалению с поверхности детрита, бактерий, некротической ткани и раневого экссудата. Этот метод применим для дефектов в воспалительной стадии, но не для гранулирующих ран, где могут повреждаться хрупкие эндотелиальные и эпителиальные клетки.

В 70–е годы прошлого века появился новый метод обработки ран. Полость гнойной раны заполнялась раствором антибиотика или антисептика, которая подвергается воздействию ультразвуковых колебаний с помощью рабочего инструмента ультразвукового аппарата. Метод основан на значительной биологической потенции ультразвуковых колебаний, оказывающих антимикробное и противовоспалительное действие.

В работе [3] описывается процесс очищения ран с помощью ультразвукового аппарата. Также при ультразвуковой обработке наблюдаются различные биологические и физические явления, которые положительно отражаются на лечении больного, которые очень подробно расписаны в работе [5].

Например, эффект кавитации - образование в жидкости микрополостей, наполненных газом и/или паром. Разрывы пузырьков в полости раны, ведут к механическому очищению от налета на поверхности раны, механическому разрушению бактерий, микромассажу подлежащих тканей.

Следующий процесс, перемешивание жидкости в полости раны волнами кавитационных пузырьков, перемещающихся в пространстве с большой скоростью

называется кавитационным барботированием. При разрыве кавитационных пузырьков в жидкости возникают участки с большим давлением, образуется ударная волна, в результате этого происходит эффективное очищение раневой поверхности от некротических тканей, усиливается импрегнация лекарственных растворов в ткань. При кавитационном барботировании создается большая поверхность взаимодействия на границе между жидкостью, обогащенной газом, и стенкой полости, что способствует интенсификации физико-химических и обменных процессов.

Тепловой эффект несет как полезные так и негативные последствия. Возникает при взаимодействии ультразвукового инструмента и участка биоткани. Нужно проводить эту процедуру с большой осторожностью, т.к. энергия механических колебаний превращается в тепловую и вызывает при малой мощности положительный отклик со стороны биообъекта - расширение сосудов микроциркуляторного русла, что способствует улучшению кровоснабжению конечности, но при большой мощности ведет к коагуляции ткани, вплоть до карбонизации.

Под воздействием ультразвуковых волн происходит распад воды, образование перекиси водорода и короткоживущих свободных радикалов – ионов водорода и кислорода, которые в свою очередь имеют ярко выраженный противобактериальный эффект.

Дробление, дезинтеграция тканей, изменение структуры, перевод в коллоидное состояние называют фрагментацией. Фрагментация мягких тканей происходит за счет прямого контакта наконечника с тканью, вибрации жидкости, волн повышенного и отрицательного давления, а также эффекта кавитации.

Если же говорить о биологических эффектах ультразвука, то они зависят от интенсивности механических колебаний, которая пропорциональна потоку энергии, переносимой через единицу площади излучающей поверхности инструмента.

Бактерицидный эффект ультразвука большинство специалистов объясняют эффектом ультразвуковой кавитации, возникающей при прохождении ультразвуковой волны большой интенсивности через жидкостную среду. При этом в полости, заполненной жидкостью, возникают микрополости, заполненные паром и/или газом. Воздействие этих микрополостей на стенку бактерий приводит к ее тепловому и механическому повреждению. Возможности бактерицидного эффекта ограничены мощностью воздействия. Недостаточность бактерицидного эффекта в случае использования маломощного воздействия удается нивелировать увеличением продолжительности и кратности воздействия

Фонофоретический эффект. Наряду с прямым бактерицидным воздействием на возбудителей раневой инфекции низкочастотный ультразвук позволяет осуществлять введение лекарственных веществ в глубину ткани. Глубина проникновения зависит от функционального состояния ткани, вида ткани, экспозиции и мощности ультразвукового воздействия.

Противовоспалительный эффект низкочастотного ультразвука известен с 70-х годов прошлого века и объясняется подавлением роста микрофлоры, быстрым очищением раны и нормализацией микроциркуляторных нарушений в очаге воспаления.

Стимулирующий эффект. В многочисленных экспериментах показано, что низкочастотный ультразвук дает потенциально важный эффект воздействия на функциональную активность клеток соединительной ткани, который может заметно влиять на восстановление тканей и процессы регенерации в естественных условиях.

Одной из самых важных частей лечения синдрома диабетической стопы, является лечение диабета, но без качественной обработки ран есть риск развития трофических язв, что может привести к гангрене, а в последствии, к необходимости ампутации конечности. Одним из самых эффективных методов лечения является ультразвуковая обработка полости раны.

### **Аппаратная часть метода ультразвуковой обработки диабетической стопы.**

#### **Обзор используемых аппаратов.**

Во время проведения процедуры обработки раны с помощью ультразвукового аппарата, медицинский работник вводит специальный хирургический инструмент, которому сообщены ультразвуковые колебания, в полость раны. В зависимости от комбинаций таких характеристик ультразвука, как частота, амплитуда и время воздействия, возможно получение различных эффектов. Но наряду с преимуществами существует и ряд проблем. Одной из них является проблема, обусловленная изменением амплитуды механических колебаний рабочей части ультразвуковой колебательной системы при взаимодействии с биотканью. Данное изменение ультразвуковой колебательной системы может привести к снижению эффективности лечебной процедуры, а также к возможным травмам, что еще больше осложнит лечение синдрома диабетической стопы.

Изменение режима работы ультразвуковой колебательной системы может быть исправлено наличием в ультразвуковом генераторе корректирующей обратной связи: систем автоматической подстройки частоты и автоматической стабилизации амплитуды.

Однако в большинстве существующих моделей существует только фиксированные режим работы ультразвуковой колебательной системы.

При проведении процедуры ультразвукового очищения раны характеристики биоткани в зоне контакта с инструментом изменяются в широком диапазоне (табл., поэтому фиксированные режим работы ультразвуковой колебательной системы в данном случае не подходит. Для достижения оптимальной эффективности необходимо обеспечить управление значением амплитуды механических колебаний рабочей части ультразвуковой колебательной системы в соответствии со значениями механических характеристик биоткани, а так же поддержание резонансной частоты системы.

В 70-е годы начались активные исследования в области освоения низкочастотного ультразвука в лечении воспалительных процессов. Была создана серия ультразвуковых низкочастотных генераторов (УРСК-5, УРСК-7Н, УРСК-8Н, УРСК-7Н-18, УРСК-7Н-22 и др.), которые активно использовались в хирургии, травматологии и ортопедии, стоматологии, отоларингологии, пульмонологии и других областях медицины. Рассмотрим аппарат хирургический ультразвуковой УТС УРСК07 Н22. Разработчиком данного аппарата является МГТУ им. Н.Э.Баумана (Россия), а сам аппарат позиционируется как ультразвуковой хирургический аппарат, предназначенный для проведения хирургических операции, а также для санации инфицированных биологических объектов и обработки ран с целью профилактики. Аппарат УРСК07 Н используется для ультразвуковой обработки инфицированных и гнойных ран; позволяет проводить операции в труднодоступных местах без значительных физических усилий; снижает концентрацию патогенной микрофлоры в биологических тканях; очищает грязные, гнойные раны от некротизированных наложений;

Как уже говорилось выше, применение ультразвукового лечения является одним из интенсивно развивающихся направлений современной медицины, поэтому на рынке представлено большое количество ультразвуковых аппаратов для различных направлений хирургии.

В ходе литературного анализа было выявлено, что не один из производимых в России аппаратов, используемых для санации ран при синдроме диабетической стопы, не обладает автоматической подстройкой частоты, а в ручном режиме очень сложно контролировать работу ультразвукового инструмента в полости раны. Так как, при обработке раны с помощью ультразвукового инструмента, характеристики биоткани в зоне контакта с инструментом изменяются, а это ведет к смещению резонансной частоты и изменению амплитуды, что может снизить эффективность процедуры в разы. Для

достижения оптимальной эффективности необходимо обеспечить управление значением амплитуды механических колебаний рабочей части ультразвуковой колебательной системы в соответствии со значениями механических характеристик биоткани, а так же поддержание резонансной частоты системы. Частота и амплитуда должна быть подобрана таким образом, чтобы биотканям поглощалась акустическая мощность, при которой достигается максимальный лечебный эффект, обычно амплитуда равна 2-3 мкм, а частота равна 20 – 30 кГц, но данные цифры варьируются в зависимости от типа тканей и характеристик раны. Одним из способов компенсации является динамическая подстройка амплитуды и частоты ультразвукового воздействия на основе анализа значений акустической мощности. Известно, что при изменении механических характеристик на выходе происходит изменение электрических характеристик на входе системы, а значит, об изменении механических характеристик биоткани можно судить по изменению электрических характеристик системы и в частности пьезоэлектрического преобразователя [8].

### **Заключение**

Ультразвуковые низкочастотные методы имеют огромные возможности для их применения, как в хирургии, так и в терапии, так как обладают обеззараживающими свойствами и стимулирующим заживление действием. К сожалению, большинство аппаратов не позволяют достичь максимальной эффективности лечебного воздействия, так работают лишь в фиксированных режимах, а это неэффективно, так акустический импеданс ткани под ультразвуковым инструментом меняется в широком диапазоне.

Возможным решением этой проблемы, будет метод динамического контроля акустической мощности, на основе которого возможно создание быстродействующей системы динамической подстройки частоты и амплитуды, учитывающей механоакустические характеристики обрабатываемых биотканей. Этот метод можно реализовать основе анализа значений акустической мощности. Так как при изменении механических характеристик на выходе происходит изменение электрических характеристик на входе системы, мы можем судить об изменении электроакустических характеристик по изменения электрических характеристик пьезоэлектрического преобразователя.

### **Список литературы**

- [1]. Пупышев М.Л. Применение низкочастотного ультразвука в лечении больных деструктивными формами диабетической стопы // Всероссийская конференция

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/836773.html>

- «Актуальные вопросы гнойных осложнений и заболеваний в хирургической практике» (Новосибирск, 28 - 30 ноября 1999 г.): тез. докл. Новосибирск, 1999. С. 217-218.
- [2]. Анциферов М. Б., Галстян Г. Р., Токмакова А. Ю. Диагностика диабетической нейропатии (Методические рекомендации). М.: Федеральный диабетологический центр МЗ РФ, 1998. 34 с.
- [3]. Храмилин В.Н. Современные аспекты местного лечения хронических ран нижних конечностей у больных сахарным диабетом // Научно-практический медицинский журнал ГУ. Эндокрино-логический научный центр РАМН. 2005. № 4. С. 74–78.
- [4]. Токмакова А.Ю., Страхова Г.Ю., Галстян Г.Р. Современная концепция ведения больных с хроническими ранами и сахарным диабетом // Сахарный диабет. 2005. № 1. С. 42-48.
- [5]. Макарович А.Г., Чернядьев С.А., Айрапетов Д.В., Коробова Н.Ю. Клинические аспекты использования низкочастотного ультразвука в хирургии панкреонекроза: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УГМА, 2011. 32 с.
- [6]. Березовский В.А., Колотилов Н.Н. Биофизические характеристики тканей человека. Справочник. Киев: Наука, 1990. 220 с.
- [7]. Квашнин С. Е. Исследование амплитудно-частотных характеристик медицинских ультразвуковых пьезопреобразователей продольных колебаний // Конверсия. 1997. № 10. С. 30-31.
- [8]. Рисман Б.В. П.Н.Зубарев, А.И.Щеголев. Некоторые физические методы лечения у больных с гнойно-некротическими осложнениями синдрома диабетической стопы // 2-й Международный Симпозиум «Диабетическая стопа: хирургия, терапия, реабилитация» (Санкт-Петербург, 12-15 апреля 2008 г.): тез. докл. Санкт-Петербург., 2008. С.141-142.
- [9]. Хилл К. Применение ультразвука в медицине. Физические основы. М.: Мир, 1989. 568 с.
- [10]. Карпухин В.А., Петренко О.В. Метод определения механических характеристик биологических тканей при ультразвуковом воздействии // Акустический журнал. 1995. Т. 41. №3. С. 511-512.