

А. Н. Крук, А. А. Ситник, А. Л. Линов, А. В. Бакановский,
А. В. Кочубинский, О. А. Корзун, П. А. Волотовский

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРАПИИ РАН ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ.

ЧАСТЬ 1. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

ГУ «Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии»
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Цель исследования – анализ литературных данных о применении терапии ран отрицательным давлением в клинической практике, в частности в травматологии и ортопедии, изучение современных тенденций развития данного метода лечения, а также анализ эффективности методик, уже внедренных в клиническую практику. Первые упоминания о применении локального отрицательного давления в медицине появились более четырехсот лет назад. Впоследствии многие ученые проводили эксперименты по применению систем терапии отрицательным давлением для лечения инфекций мягких тканей и ран. Терапия отрицательным давлением применяется в различных отраслях медицины. Немаловажную роль этот метод занимает и в травматологии и ортопедии, помогая достигать решения поставленных задач. Метод применения терапии ран отрицательным давлением имеет ряд неоспоримых положительных эффектов, однако также существует ряд возможных нежелательных осложнений в связи с применением данного метода лечения. Принципиальная концепция строения системы для терапии ран отрицательным давлением была выработана уже более двадцати лет назад, однако и по сей день происходит совершенствование и поиск новых и улучшенных компонентов системы, а также пути улучшения классической схемы с целью увеличения эффективности лечения данным методом. В клинической практике используются как готовые для использования наборы, так и некоммерческие устройства и компоненты, смоделированные для конкретного клинического случая. За долгие годы применения терапии отрицательным давлением авторы выработали обобщенную методику ведения пациентов, в лечении которых используется данная методика.

Ключевые слова: терапия ран отрицательным давлением, раны, инфекции мягких тканей, осложнения в травматологии.

A. M. Kruk, A. A. Sitnik, A. L. Linov, A. V. Bakanouski, A. V. Kochubinski,
O. A. Korzun, P. A. Volotovski

THE USE OF NEGATIVE PRESSURE WOUND THERAPY IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS.

PART 1. JUSTIFICATION OF THE METHODOLOGY, TECHNICAL FEATURES, GENERAL RECOMMENDATIONS FOR USE

Annotation. The purpose of the study is to analyze the literature data on the use of negative pressure wound therapy in clinical practice, in particular in traumatology and orthopedics, to explore current trends in the development of this method, as well as to analyze the effectiveness of techniques already introduced into clinical practice. The first mentions of the use of local negative pressure in medicine appeared more than four hundred years ago. Subsequently, many scientists experimented with the use of negative pressure therapy systems to treat soft tissue infections and wounds. Negative pressure wound therapy is used in various branches of medicine. This method plays an important role in traumatology and orthopedics, helping to achieve the solution of assigned problems. Negative pressure wound therapy has a number of undeniable positive effects,

but there are also a number of possible complications in connection with the use of this method of treatment. The fundamental concept of the system for negative pressure therapy was developed more than twenty years ago, however, to this day there is an improvement and search for new and improved components of the system, as well as ways to improve the classical scheme in order to increase the effectiveness of treatment with this method. In clinical practice, both ready-to-use kits and non-commercial devices modeled for a specific clinical case are used. Over many years of using negative pressure therapy, the authors have developed a generalized methodology for managing patients treated by negative pressure wound therapy kit.

Key words: *negative pressure wound therapy, wounds, soft tissue infections, complications in traumatology.*

Инфекционно-трофические осложнения как после хирургического вмешательства, так и в результате травмирующего воздействия в травматологии и ортопедии представляют собой актуальную проблему современной медицины, и, порой, их преодоление выходит на передний в план в комплексе лечебных мероприятий.

Первые упоминания о методе лечения ран локальным отрицательным давлением (англ. Negative pressure wound therapy – далее NPWT) появились более четырёхсот лет назад в Китае, где применялись банки из колец бамбука или чайных чашек. Теодор Бильрот в девятнадцатом веке использовал вакуум, полагая, что улучшение кровотока в зоне раны уменьшает сроки её заживления. Н. И. Пирогов дал теоретическое обоснование этому методу и с успехом применял его на практике для лечения инфекции мягких тканей [1].

Механизм действия. Положительный эффект NPWT выражается в следующем: уменьшение размеров раны; стимуляция роста грануляционной ткани; очищение раневой поверхности за счёт удаления раневого экссудата; уменьшение интерстициального отёка, таким образом предотвращая окклюзию микрососудистого русла и лимфатической системы, предотвращая гипоксию и некроз тканей; снижение количества микроорганизмов в ране; профилактика внутрибольничной инфекции (достигается посредством снижения кратности выполнения перевязок, а также изоляции раны) [2].

Показания к применению. Применение NPWT показано: при ранении мягких тканей, в том числе травматических отслойках; в комплексе подготовительных мероприятий при лечении открытых переломов, дефектов покровных тканей; при лечении инфицированных послеоперационных ран; в составе комплексного лечения хронического остеомиелита.

Противопоказания к применению. Абсолютными противопоказаниями к проведению NPWT относятся: некорректируемая коагулопатия, а также риск развития кровотечения; злокачественная онкологическая патология в зоне воздействия отрицательным давлением; неадекватная хирургическая обработка очага инфекции с оставлением некротизированных тканей [3].

Немаловажным правилом применения NPWT является осторожное расположение компонентов системы рядом с сосудисто-нервными образованиями [4].

Биологическое обоснование метода. Физиологическим обоснованием применения локального отрицательного давления считаются: активация регионарного крово- и лимфообращения; стимуляция эпителизации; стимуляция выработки эндотелиальных факторов роста и фибробластических факторов роста, тем самым стимулируя неоангиогенез [5].

На клеточном уровне при применении NPWT наблюдается достоверное снижение количества нейтрофилов и лимфоцитов в ране, а также достоверное повышение количества гистиоцитов, макрофагов и клеток фибробластического ряда через 7 суток после начала цикла NPWT по сравнению с традиционной методикой ведения раны [6].

Клинико-экономическое обоснование метода. Бесспорным преимуществом применения NPWT является снижение затрат на лечение благодаря уменьшению длительности пребывания пациента в клинике, равно как и усиление эффекта комплексного лечения, что несоизмеримо имеет большую экономическую выгоду на фоне стоимости аппарата NPWT и расходных материалов.

Материально-техническая составляющая метода. Сегодня существует множество производителей, предлагающих готовый набор для наложения вакуумной повязки. Основным компонентами набора является компрессор отрицательного давления, предполагающий различные режимы NPWT. Кроме того, в комплект входят губки для заполнения раневого ложа, герметизирующая повязка и отводящая трубка. Губка выполнена из полиуретана с размерами пор в диапазоне от 400 до 600 мкм, либо поливинилалкоголя с диаметром пор от 60 до 270 мкм. В случае применения губок из поливинилалкоголя рекомендовано их предварительное увлажнение стерильным изотоническим раствором хлорида натрия. Известно, что мелкопористые губки обладают меньшими адгезионными и перфузионными возможностями. В качестве раневого наполнителя также можно использовать стерильную марлю. Однако эксперименты показали, что в образцах, в которых использовалась

губка, уровень образования грануляционной ткани был выше, также была повышена лейкоцитарная инфильтрация и дезорганизация тканей. Стоит отметить, что усилие, требующееся для снятия пенополиуретановой губки с раневого ложа, заметно выше ($4,0-5,0Н \pm 0,4-0,6Н$), чем при использовании марли ($2,1 \pm 0,2 Н$). Это объясняется врастанием грануляционной ткани в поры пенополиуретановой губки и отсутствием такого явления при использовании марли, что подтверждено гистологическими исследованиями [7]. С целью предотвращения врастания грануляций в пористое основание вакуумной повязки возможно применение промежуточного слоя между раной и основанием вакуумной повязки в виде атравматичной парафинизированной повязки на основе силикона. Однако следует учесть тот факт, что полупроницаемость данного типа повязок может уменьшить лечебный эффект от применяемой NPWT из-за возможного снижения конечного отрицательного давления в раневом ложе. Стоит отметить, что с целью предотвращения болевого синдрома (перед сменой или снятием повязки) возможно выполнение инстилляций раствора водорастворимого антисептика в область повязки при отключении аспирации в системе [8].

Важной физической характеристикой средств, используемых для успешного заживления ран, является скорость пропускания водяного пара. Системы NPWT, состоящие из пенополиуретановой основы или марли и полупроницаемой герметизирующей плёнки, обычно имеют высокие показатели скорости пропускания водяного пара. К тому же, отрицательное давление на раневой поверхности, увеличивает скорость пропускания водяного пара пенной основой повязки за счёт отсасывания экссудата [9]. Hudson и соавт. исследовали эффективность различных технических решений и пришли к выводу, что при высоком показателе скорости пропускания пара на всех слоях вакуумной повязки, в том числе и на уровне герметизирующего покрытия, до 80 % экссудата испаряется через повязку и её верхний слой, имеющий высокую скорость пропускания водяного пара, что позволяет не использовать громоздкие конструкции с резервуарами большого объёма для депонирования полученного раневого отделяемого [10].

Режимы применения NPWT. Наиболее распространённым и технически простым методом NPWT является режим непрерывного поддержания отрицательного давления на заданном уровне. Однако в эксперименте было показано, что применение NPWT в прерывистом цикле более благоприятно влияет на уровень образования грануляционной ткани. Было установлено, что наиболее эффективный цикл применения NPWT

в прерывистом режиме составляет пять минут отрицательного давления, сменяющийся двумя минутами его отключения. На основании доплеровского исследования кровотока у краёв раны показано, что при отрицательном давлении кровотоки у краёв раны ослабевают, однако в фазе атмосферного давления кратно увеличивается, что и способствует стимуляции репаративных процессов в ране. Однако динамическое колебание давления в области раневого ложа может приводить к развитию болевого синдрома, что в свою очередь потребует применения анальгетиков в большем объёме, а также негативно скажется на комфортабельности пациента и повысит вероятность досрочного окончания NPWT [11]. С целью повышения эффективности NPWT, а также нивелирования отрицательных субъективных ощущений от применения методики в прерывистом режиме было предложено применение циклического отрицательного давления [12]. Суть метода заключается в волнообразном создании отрицательного давления в пределах от -125 мм.рт.ст. до -50 мм.рт.ст. никогда не достигая атмосферного уровня. Направление смены давления меняется тотчас при достижении конечных значений в заданном диапазоне работы. Эксперименты показали, что схема NPWT с достижением -50 мм.рт.ст. является наиболее эффективной, что проявляется в уменьшении площади раны, увеличении уровня перфузии, увеличении уровня васкуляризации в ране. Кроме того, NPWT в циклическом режиме субъективно воспринимается менее болезненно. Хотя, с другой стороны, при анализе данных, полученных на основании объективных методик определения боли статистически достоверной разницы между исследуемыми группами не получено [13].

Относительным противопоказанием к применению циклического и прерывистого режимов NPWT является использование её над расщеплённым кожным трансплантатом. В данном случае рекомендуется применение исключительно постоянного отрицательного давления.

В Республике Беларусь разработан отечественный аппарат для NPWT, представляющий возможность производить лечение как в непрерывном, так и в прерывистом цикле [14].

В своей практике мы используем некоммерческие устройства для NPWT. Эффективность использования некоммерческих систем NPWT подтверждена как полученными клиническими результатами, так и многочисленными литературными данными [15]. Как правило, используется отрицательное давление на уровне -125 мм.рт.ст., равно как допустимо использование давления в диапазоне от -75 мм.рт.ст. до -125 мм.рт.ст. В своём исследовании O. Borgquist и L. Gustafsson показали,

что степень макродеформации раневой поверхности как при значениях давления -75 мм.рт.ст., так и при -125 мм.рт.ст. одинакова, равно как эффекты усиления кровотока микрососудистого русла в области краёв раны практически идентичны. Кроме того, было отмечено, что биологическое воздействие на края раны возрастает с увеличением отрицательного давления и достигая значения -75 мм.рт.ст. стабилизируется, а эффект при -125 мм.рт.ст. аналогичен таковому при -75 мм.рт.ст. [16]. Сообщения о превышающем стандартные значения применяемом отрицательном давлении носят, скорее, характер отдельных клинических случаев и не могут служить доказательством эффективности данной методики. Применение систем NPWT с величиной отрицательного давления свыше -125 мм.рт.ст. сопряжено с усилением болевого синдрома в области раневого ложа, что может не позволить использовать данный метод лечения в течение планируемого и требуемого периода времени.

Следующим шагом в эволюции метода NPWT стало внедрение систем с инстилляцией и экспозицией (англ. NPWTi-d). Такой тип систем способствует снижению бактериальной нагрузки, растворению и эвакуации мелких некротических частиц из раны, а также густого экссудата. Применение оправдано как до и после хирургической обработки, так и в тех случаях, когда хирургическая обработка по тем или иным причинам невозможна [17]. S. G. Goss в своём исследовании показал, что NPWTi-d снижает бионагрузку в инфицированных ранах, в то время как в контрольной группе (NPWT) количество микроорганизмов в ране может даже возрасти [18]. D. Brinkert доказал эффективность применения NPWTi-d после неэффективного курса применяемой ранее классической NPWT. Рекомендовано применение в качестве инстиллята изотонического раствора натрия хлорида. Применение данного раствора позволит избежать развития возможных нежелательных побочных реакций макроорганизма, равно как и местного токсического воздействия на ткани. Применение данного раствора в качестве средства для деконтаминации раны оправдано также и при этапной хирургической обработке раны, некрэтомии между циклами NPWT [19]. P. J. Kim показал данные об эффективности применения 0,04 % раствора полигексанида в разных циклах NPWTi-d по сравнению с классической NPWT. Так, было установлено, что эффективность применения NPWTi-d по схеме: 210 минут воздействия отрицательного давления и 6 минут инстилляцией; 120 минут воздействия отрицательного давления и 20 минут инстилляцией – не показали достоверной статистической разницы в анализируемых параметрах эффективности лечения. Однако, если

исключить из исследования пациентов, инфицированных *Corynebacterium*, в группе грамотрицательных культур более эффективно применение схемы с шестиминутной инстилляцией. Кроме того, по мнению авторов, применение схемы с шестиминутной инстилляцией более безопасно с точки зрения предотвращения появления мацераций в области раны, или промокания краев покровной мембраны, и в последующем несостоятельности системы [20].

Однако нами найдены литературные данные об исследованиях Davis KE и Omar M, в которых проводилось сравнение между классической схемой NPWT и NPWTi-d. Авторы не выявили достоверной разницы в клиническом исходе лечения ран на основании доли заживления ран, длительности пребывания в лечебном учреждении, времени до заживления раны [21, 22]. В то же время стоит отметить, что исследования проводились на малых популяциях и не могут в полной мере объективно отразить эффективность того или иного метода NPWT. Исследования в области NPWTi-d являются перспективным направлением научной работы и требуют дальнейшего анализа.

Общие клинические рекомендации по применению метода. На основании анализа множества литературных данных, а также собственного клинического опыта, коллективом авторов был разработан унифицированный алгоритм применения метода NPWT. Ведение раны: повязку следует менять каждые 48–72 часа для предотвращения увеличения бионагрузки, а также развития нового инфекционного процесса и чрезмерного вставания грануляционной ткани в повязку. В случае применения NPWT над ушитой раной кратность смены повязки можно продолжить до 120 часов. С целью дополнительной оценки получаемого раневого отделяемого, по нашему мнению, целесообразно применение губок белого цвета и прозрачного герметизирующего покрытия. Курс NPWT завершается по достижении поставленных целей: уменьшение площади раны, снижение количества экссудата, гранулирование раны; либо при недостижении целей терапии: прогрессия раневого процесса, болевой синдром.

В своём исследовании Yusuf E. и соавт. проанализировали микробный пейзаж, полученный с поверхности пористых оснований вакуумных повязок, применяемых при лечении хронических инфицированных ран. Обработка пористых оснований производилась посредством ультразвукового воздействия. Авторы пришли к выводу, что смена повязки не дает значимого снижения микробной нагрузки на поверхности пористого основания, которая остаётся высокой несмотря на смену пористого основания каждые 72 часа, а также

установили, что микробная нагрузка в губчатых основаниях на основе поливинилалкоголя при давлении -100 мм.рт.ст. выше, чем при использовании полиуретановых губчатых основания при -125 мм.рт.ст. По-видимому, данное явление можно объяснить скоростью кровотока в ране и величиной градиента давления, а также размером пор в губчатом основании. Более того, авторы отметили появление полимикробного пейзажа в нескольких наблюдениях, где смена пористого основания происходила чаще, чем раз в 72 часа. [23].

В то же время Van Неске и соавт. в своём исследовании *ex vivo*, сравнивая микробную нагрузку в ране после применения пористого основания из поливинилалкоголя, полиуретана, импрегнированного серебром, полиуретана и классической неадгезивной повязки с полигексаметилен бигуанидом, пришли к выводу, что применение вакуумных повязок на основе поливинилалкоголя достоверно выше снижают микробную нагрузку в ране. Однако, проанализировав предоставленные производителем поливинилалкоголь-пористого основания данные, авторы пришли к выводу, что вероятный антибактериальный эффект поливинилалкоголь-основания заключается в присутствии в составе формальдегида, который обладает собственным цитотоксическим эффектом. Эффективность применения пористых оснований из полиуретана и полиуретана, импрегнированного серебром, оказалась сопоставима, что, вероятно, объясняется отрицательным градиентом давления и минимальным контактом ионов серебра с раневой поверхностью. А как известно, антибактериальный эффект ионов серебра возможен лишь при непосредственном контакте с раневой поверхностью [24].

Осложнения, связанные с применением NPWT. Существует немного осложнений при использовании NPWT: болевой синдром при высоком уровне установленного давления; болезненность при смене пористого основания (ввиду врастания в последнее грануляционной ткани); переувлажнение раны с последующим развитием мацерации прилегающих кожных покровов при недостаточности давления либо при обильно экссудирующей ране.

В повседневной клинической практике не стоит забывать о возможной индивидуальной непереносимости пациентами компонентов системы отрицательного давления, непосредственно контактирующих с тканями пациента. Описаны случаи появления везикулоподобных изменений кожных покровов в области фиксации герметизирующего компонента системы, а также аллергических реакций на пористое основание, применяемое в системе [25].

Кроме того, к возможным нежелательным последствиям после проведения NPWT можно отнести оставление в ране части пенополиуретановой пористой основы из-за её обрастания грануляционной тканью либо из-за механического нарушения целостности материала. Частицы пенополиуретана в ране могут привести к персистенции инфекции, нарушению заживления раны, необходимости повторных хирургических вмешательств, длительным курсам антибиотикотерапии. Anagnostakos и соавт. проанализировали данные и пришли к выводу о потенциально возрастающей частоте такого осложнения NPWT. В современной литературе нет систематических обзоров, посвящённых этой теме, а имеющиеся публикации, скорее, носят характер случаев из практики. Однако число таких публикаций возрастает. Нет чёткой закономерности между длительностью применения отрицательного давления и частотой развития осложнений, обусловленных наличием частиц пористого основания. Так Leijnen и соавт. [26] описали случай возникновения дренируемого синуса через пять лет, а Saeed MU и соавт. [27] через один месяц после применения NPWT. Таким образом, необходимо чётко документировать форму и части губчатого основания вакуумной повязки, равно как по возможности снятие системы выполнять той же бригадой, которая выполняла наложение этой системы, а также выполнять тщательный визуальный контроль раневого ложа [28].

Заключение. Применение NPWT в травматологии и ортопедии в лечении инфекционно-трофических осложнений является неотъемлемой частью современного лечебного процесса. Однако для эффективного использования данного метода лечения необходимо досконально понимать принцип работы названного метода как с точки зрения биологии, так и с точки зрения физики, а также иметь представление о химической составляющей используемых материалов.

Литература

1. *Возможности вакуумной терапии в лечении инфекционных осложнений у пациентов ортопедо-травматологического профиля (обзор литературы)* / И. И. Руссу, С. А. Линник, Г. И. Синенченко [и др.] // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2016. – № 2(18). – С. 49–54.
2. *Uses of negative pressure wound therapy in orthopedic trauma* / M. J.Gage, R. S.Yoon, K. A.Egol, F. A.Liporace // OrthoP. Clin. North. Am. – 2015. – Vol. 46, № 2. – P. 22–234.
3. *Desai K. K., Hahn E, Pulikkottil B., Lee E. Negative pressure wound therapy: an algorithm.* Clin Plast Surg. 2012 Jul;39(3):311-24.
4. *Gage M. J., Yoon R. S., Egol K. A., Liporace F. A. Uses of negative pressure wound therapy in orthopedic trauma.* Orthop Clin North Am. 2015 Apr;46(2):227-34.

5. *Othman D.* Negative pressure wound therapy literature review of efficacy, cost effectiveness, and impact on patients' quality of life in chronic wound management and its implementation in the United Kingdom // *Plast. Surg. Int.* – 2012. – Vol. 5. – P. 374–398.

6. *Цитологическое обоснование применения вакуумной терапии в комбустиологии / С. Б. Богданов, Д. Н. Марченко, К. С. Павлюк [и др.] // Вестник хирургии им. И. И. Грекова.* – 2020. – Т. 179, № 6. – С. 44–49.

7. *Malmsjö M., Ingemansson R.* Green foam, black foam or gauze for NPWT: effects on granulation tissue formation. *J Wound Care.* 2011 Jun;20(6):294–9.

8. *Волгас Д. А., Хардер И.* Мягкие ткани в травматологии. Принципы обращения и клинические случаи. Берлин, Васса-медиа, 2016. – С. 318.

9. *Nuutila K., Eriksson E.* Moist Wound Healing with Commonly Available Dressings. *Adv Wound Care (New Rochelle).* 2021 Dec;10(12):685–698.

10. *Hudson D. A., Adams K. G., Van Huyssteen A., Martin R., Huddleston E. M.* Simplified negative pressure wound therapy: clinical evaluation of an ultraportable, no-canister system. *Int Wound J.* 2015 Apr;12(2):195–201.

11. *Malmsjö M., Gustafsson L., Lindstedt S., Gesslein B., Ingemansson R.* The effects of variable, intermittent, and continuous negative pressure wound therapy, using foam or gauze, on wound contraction, granulation tissue formation, and ingrowth into the wound filler. *Eplasty.* 2012;12:e5.

12. *Lee K. N., Ben-Nakhi M., Park E. J., Hong J. P.* Cyclic negative pressure wound therapy: an alternative mode to intermittent system. *Int Wound J.* 2015 Dec;12(6):686–92.

13. *Sogorski A., Becker A., Dadras M., Wallner C., Wagner J. M., Glinski M. V., Lehnhardt M., Behr B.* Superior Enhancement of Cutaneous Microcirculation Due to «Cyclic» Application of a Negative Pressure Wound Therapy Device in Humans – Local and Remote Effects. *Front Surg.* 2022 Mar 3;9:822122.

14. Первый отечественный аппарат для вакуумной терапии / С. Д. Федянин, В. А. Косинец, Б. М. Хрусталеv [и др.] // *Вестник Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя медыцынскіх навук.* – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 491–496.

15. *Madrigal P., Moshal T., Bernabe R., Yenikomshian H., Gillenwater J.* A comparison of negative pressure wound therapy modalities, VAC versus non-commercial NPWT alternatives: A systematic review of RCTs/CCTs. *J Tissue Viability.* 2022 Nov;31(4):630–636.

16. *Borgquist O., Gustafsson L., Ingemansson R., Malmsjö M.* Micro- and macromechanical effects on the wound bed of negative pressure wound therapy using gauze and foam. *Ann Plast Surg.* 2010 Jun;64(6):789–93.

17. *Faust E., Opoku-Agyeman J.L., Behnam A.B.* Use of Negative-Pressure Wound Therapy With Instillation and Dwell Time: An Overview. *Plast Reconstr Surg.* 2021 Jan 1;147(1S-1):16S–26S.

18. *Goss S. G., Schwartz J. A., Facchin F., Avdagic E., Gendics C., Lantis J.C.* 2nd. Negative Pressure Wound Therapy With Instillation (NPWTi) Better Reduces Post-debridement Bioburden in Chronically Infected Lower Extremity Wounds Than NPWT Alone. *J Am Coll Clin Wound Spec.* 2014 Feb 20;4(4):74–80.

19. *Brinkert D., Ali M., Naud M., Maire N., Trial C., Téot L.* Negative pressure wound therapy with saline instillation: 131 patient case series. *Int Wound J.* 2013 Dec;10 Suppl 1(Suppl 1):56–60.

20. *Kim P. J., Attinger C. E., Steinberg J. S., Evans K. K., Powers K. A., Hung R. W., Smith J. R., Rocha Z. M., Lavery L.* The impact of negative-pressure wound therapy with instillation compared with standard negative-pressure wound therapy: a retrospective, historical, cohort, controlled study. *Plast Reconstr Surg.* 2014 Mar;133(3):709–716.

21. *Davis K. E., La Fontaine J., Farrar D., Oz O. K., Crisologo P. A., Berriman S., Lavery L. A.* Randomized clinical study to compare negative pressure wound therapy with simultaneous saline irrigation and traditional negative pressure wound therapy for complex foot infections. *Wound Repair Regen.* 2020 Jan;28(1):97–104.

22. *Omar M., Gathen M., Lioudakis E., Suero E. M., Krettek C., Zeckey C., Petri M.* A comparative study of negative pressure wound therapy with and without instillation of saline on wound healing. *J Wound Care.* 2016 Aug;25(8):475–8.

23. *Yusuf E., Jordan X., Clauss M., Borens O, Mäder M, Trampuz A.* High bacterial load in negative pressure wound therapy (NPWT) foams used in the treatment of chronic wounds. *Wound Repair Regen.* 2013 Sep-Oct;21(5):677–81.

24. *Van Hecke L. L., Haspeslagh M., Hermans K., Martens A.M.* Comparison of antibacterial effects among three foams used with negative pressure wound therapy in an ex vivo equine perfused wound model. *Am J Vet Res.* 2016 Dec;77(12):1325–1331.

25. *Norman G., Shi C., Goh E. L., Murphy E. M., Reid A., Chiverton L., Stankiewicz M., Dumville J. C.* Negative pressure wound therapy for surgical wounds healing by primary closure. *Cochrane Database Syst Rev.* 2022 Apr 26;4(4):CD009261.

26. *Leijnen M., Steenvoorde P., van Doorn L. P., da Costa S. A., Schuttevaer H. M., van Leeuwen G. A., Oskam J.* A Non-healing Sinus of the Lower Leg 5 Years After Vacuum-assisted Closure Therapy Due To a Gossypiboma. *Wounds.* 2007 Aug;19(8):227–30.

27. *Saeed M. U., Kennedy D. J.* A retained sponge is a complication of vacuum-assisted closure therapy. *Int J Low Extrem Wounds.* 2007 Sep;6(3):153–4.

28. *Anagnostakos K., Thiery A., Sahan I.* Retained Negative Pressure Wound Therapy Foams as a Cause of Infection Persistence. *Adv Wound Care (New Rochelle).* 2021 Dec;10(12):699–710.

References

1. *Possibilities of vacuum therapy in the treatment of infectious complications in orthopedic and trauma patients (literature review) / I. I. Russu, S. A. Linnik, G. I. Sinenchenko [et al.] // Department of Traumatology and Orthopedics.* – 2016. – No. 2(18). – P. 49–54.

2. *Uses of negative pressure wound therapy in orthopedic trauma / M. J.Gage, R. S.Yoon, K. A. Egol, F. A.Liporace // OrthoP. Clin. North. Am.* – 2015. – Vol. 46, № 2. – P. 227–234.

3. *Desai K. K., Hahn E., Pulikkottil B., Lee E.* Negative pressure wound therapy: an algorithm. *Clin Plast Surg.* 2012 Jul;39(3):311–24.

4. Gage M. J., Yoon R. S., Egol K. A., Liporace F. A. Use of negative pressure wound therapy in orthopedic trauma. *Orthop Clin North Am.* 2015 Apr;46(2):227-34.
5. Othman D. Negative pressure wound therapy literature review of efficacy, cost effectiveness, and impact on patients' quality of life in chronic wound management and its implementation in the United Kingdom // *Plast. Surg. Int.* – 2012. – Vol. 5. – P. 374–398.
6. *Cytological substantiation of the use of vacuum therapy in combustiology* / S. B. Bogdanov, D. N. Marchenko, K. S. Pavlyuk [etc.] // *Bulletin of Surgery named after. I. I. Grekova.* – 2020. – T. 179, No. 6. – P. 44–49.
7. Malmjö M., Ingemansson R. Green foam, black foam or gauze for NPWT: effects on granulation tissue formation. *J Wound Care.* 2011 Jun;20(6):294-9.
8. Volgas D. A., Harder I. Soft tissues in traumatology. Treatment principles and clinical cases. Berlin, Vassa Media, 2016. – P. 318.
9. Nuutila K., Eriksson E. Moist Wound Healing with Commonly Available Dressings. *Adv Wound Care (New Rochelle).* 2021 Dec;10(12):685-698.
10. Hudson D. A., Adams K. G., Van Huyssteen A., Martin R., Huddleston E.M. Simplified negative pressure wound therapy: clinical evaluation of an ultraportable, non-canister system. *Int Wound J.* 2015 Apr;12(2):195-201.
11. Malmjö M., Gustafsson L., Lindstedt S., Geslein B., Ingemansson R. The effects of variable, intermittent, and continuous negative pressure wound therapy, using foam or gauze, on wound contraction, granulation tissue formation, and ingrowth into the wound filler. *Eplasty.* 2012;12:e5.
12. Lee K. N., Ben-Nakhi M., Park E. J., Hong J. P. Cyclic negative pressure wound therapy: an alternative mode to intermittent system. *Int Wound J.* 2015 Dec;12(6):686-92.
13. Sogorski A., Becker A., Dadras M., Wallner C., Wagner J. M., Gliński M. V., Lehnhardt M., Behr B. Superior Enhancement of Cutaneous Microcirculation Due to «Cyclic» Application of a Negative Pressure Wound Therapy Device in Humans – Local and Remote Effects. *Front Surg.* 2022 Mar 3;9:822122.
14. *The first domestic device for vacuum therapy* / S. D. Fedyanin, V. A. Kosinets, B. M. Khrustalev [etc.] // *News of the National Academy of Sciences of Belarus. Gray Medytyn sciences.* – 2021. – T. 18, No. 4. – P. 491–496.
15. Madrigal P., Moshal T., Bernabe R., Yenikomshian H., Gillenwater J. A comparison of negative pressure wound therapy modalities, VAC versus non-commercial NPWT alternatives: A systematic review of RCTs/CCTs. *J Tissue Viability.* 2022 Nov;31(4):630-636.
16. Borgquist O., Gustafsson L., Ingemansson R., Malmjö M. Micro- and macromechanical effects on the wound bed of negative pressure wound therapy using gauze and foam. *Ann Plast Surg.* 2010 Jun;64(6):789-93.
17. Faust E., Opoku-Agyeman J. L., Behnam A. B. Use of Negative-Pressure Wound Therapy With Instillation and Dwell Time: An Overview. *Plast Reconstr Surg.* 2021 Jan 1;147(1S-1):16S-26S.
18. Goss S. G., Schwartz J. A., Facchin F., Avdagic E., Gendics C., Lantis J. C. 2nd. Negative Pressure Wound Therapy With Instillation (NPWTi) Better Reduces Post-debridement Bioburden in Chronically Infected Lower Extremity Wounds Than NPWT Alone. *J Am Coll Clin Wound Spec.* 2014 Feb 20;4(4):74-80.
19. Brinkert D., Ali M., Naud M., Maire N., Trial C., Téot L. Negative pressure wound therapy with saline instillation: 131 patient case series. *Int Wound J.* 2013 Dec;10 Suppl 1(Suppl 1):56-60.
20. Kim P. J., Attinger C. E., Steinberg J. S., Evans K. K., Powers K. A., Hung R. W., Smith J. R., Rocha Z. M., Lavery L. The impact of negative-pressure wound therapy with instillation compared with standard negative-pressure wound therapy: a retrospective, historical, cohort, controlled study. *Plast Reconstr Surg.* 2014 Mar;133(3):709-716.
21. Davis K. E., La Fontaine J., Farrar D., Oz O. K., Crisologo P. A., Berriman S., Lavery L. A. Randomized clinical study to compare negative pressure wound therapy with simultaneous saline irrigation and traditional negative pressure wound therapy for complex foot infections. *Wound Repair Regen.* 2020 Jan;28(1):97-104.
22. Omar M., Gathen M., Liodakis E., Suero E. M., Krettek C., Zeckey C., Petri M. A comparative study of negative pressure wound therapy with and without instillation of saline on wound healing. *J Wound Care.* 2016 Aug;25(8):475-8.
23. Yusuf E., Jordan X., Clauss M., Borens O., Mäder M., Trampuz A. High bacterial load in negative pressure wound therapy (NPWT) foams used in the treatment of chronic wounds. *Wound Repair Regen.* 2013 Sep-Oct;21(5):677-81.
24. Van Hecke L. L., Haspeslagh M., Hermans K., Martens A.M. Comparison of antibacterial effects among three foams used with negative pressure wound therapy in an ex vivo equine perfused wound model. *Am J Vet Res.* 2016 Dec;77(12):1325-1331.
25. Norman G., Shi C., Goh E. L., Murphy E.M., Reid A., Chiverton L., Stankiewicz M., Dumville J. C. Negative pressure wound therapy for surgical wounds healing by primary closure. *Cochrane Database Syst Rev.* 2022 Apr 26;4(4):CD009261.
26. Leijnen M., Steenvoorde P., van Doorn L. P., da Costa S. A., Schuttevaer H. M., van Leeuwen G. A., Oskam J. A. Non-healing Sinus of the Lower Leg 5 Years After Vacuum-assisted Closure Therapy Due To a Gossypiboma. *Wounds.* 2007 Aug;19(8):227-30.
27. Saeed M. U., Kennedy D. J. A retained sponge is a complication of vacuum-assisted closure therapy. *Int J Low Extrem Wounds.* 2007 Sep;6(3):153-4.
28. Anagnostakos K., Thiery A., Sahan I. Retained Negative Pressure Wound Therapy Foams as a Cause of Infection Persistence. *Adv Wound Care (New Rochelle).* 2021 Dec;10(12):699-710.

Поступила 09.07.2024 г.