UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

"DISPOSITIVI A ULTRASUONI PER LO SBRIGLIAMENTO DELLE FERITE: VANTAGGI E APPLICAZIONI"

Relatore: Prof. Andrea Facchinetti

Laureanda: Emma Cortese

ANNO ACCADEMICO 2024 – 2025

Data di laurea 26/09/2025

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 4
1.1 GLOSSARIO 5
2. LA GESTIONE DELLE FERITE 7
2.1 COSTI DELLA CURA DELLE FERITE 7
2.2 PREPARAZIONE DEL LETTO DELLA FERITA: APPROCCIO T.I.M.E. 9
3. SBRIGLIAMENTO DELLE FERITE 11
3.1 TECNICHE DI SBRIGLIAMENTO 11
3.1.1 Sbrigliamento con taglienti 13
3.1.2 Sbrigliamento chirurgico 13
3.1.3 Sbrigliamento meccanico 13
3.1.4 Sbrigliamento biologico 14
3.1.5 Sbrigliamento enzimatico 14
3.1.6 Sbrigliamento autolitico 15
4. SBRIGLIAMENTO A ULTRASUONI 17
4.1 PROPAGAZIONE DELL'ONDA 17
4.2 INTERAZIONE CON I TESSUTI 19
4.3 DISPOSITIVI PER LO SBRIGLIAMENTO A ULTRASUONI 20
4.4 DISPOSITIVI A CONTATTO DIRETTO E NON A CONTATTO DIRETTO 24
4.5 SBRIGLIAMENTO A ULTRASUONI VS TECNICHE STANDARD 25
5. CONCLUSIONI 26
6. BIBLIOGRAFIA 27
7. SITOGRAFIA 28

1. INTRODUZIONE

Questa tesi vuole analizzare lo stato dell'arte delle varie metodologie ad oggi utilizzate in ambito ospedaliero e clinico per lo sbrigliamento delle ferite, con particolare attenzione alle differenze tra tecniche di sbrigliamento standard (SWC) e sbrigliamento tramite ultrasuoni (Ultrasound-Assisted Wound Debridement - UAWD). Grazie al tirocinio svolto presso l'azienda ForEasyTech di Verona, specializzata nella progettazione di apparecchiature biomedicali, ho potuto approfondire conoscenze e applicazioni in questi ambiti specialistici e ho avuto la possibilità di venire a contatto con una realtà imprenditoriale attiva sul territorio.

Per poter capire al meglio le terminologie specialistiche, ho deciso di dedicare il primo capitolo all'illustrazione di alcuni termini utilizzati nell'elaborato, attraverso una serie di definizioni e nozioni preliminari.

Nel secondo capitolo vengono introdotti gli attuali metodi di gestione delle ferite: ci si sofferma sulle cause della formazione di lesioni croniche e acute e sui costi che ne derivano e che incidono sulla scelta del processo di cura. Viene quindi presentato l'approccio utilizzato da medici e personale sanitario per la gestione delle lesioni.

Nel terzo capitolo viene approfondito il processo dello sbrigliamento, necessario per la cura di ogni tipo di ferita. Vengono definite motivazioni e obiettivi del processo e vengono poi elencate le tecniche più comuni utilizzate per effettuarlo. Ognuna di queste tecniche viene presentata e di ciascuna vengono elencati vantaggi e svantaggi che ne derivano.

Il quarto capitolo è quello che si concentra sullo sbrigliamento tramite ultrasuoni (UAWD). Vengono innanzitutto definiti i concetti fisici che stanno alla base della propagazione delle onde ultrasoniche e dell'interazione che queste onde hanno con i diversi tipi di tessuti che incontrano. Viene quindi spiegato il fenomeno della cavitazione, responsabile dei vantaggi che gli ultrasuoni inducono su una ferita da trattare. In particolare, nel sottocapitolo 4.3 viene approfondito come le onde ultrasoniche vengano sfruttate in un dispositivo per lo sbrigliamento delle ferite. Viene quindi chiarito come è formato un dispositivo per svolgere questo tipo di trattamenti e come all'interno di esso venga generata l'onda. Nei sottocapitoli successivi, 4.4 e 4.5 vengono messe a confronto diverse tecniche di sbrigliamento: nel 4.4 si paragonano i due diversi tipi di dispositivi che esistono per lo sbrigliamento a ultrasuoni (quelli che funzionano tramite contatto diretto con la ferita, e quelli che permettono lo sbrigliamento senza contatto); nel 4.5 viene invece paragonata la tecnica di sbrigliamento tramite ultrasuoni con tecniche di sbrigliamento standard, spiegate nel capitolo 3. Concludo la tesi con un breve riassunto dei vantaggi della UAWD.

1.1 GLOSSARIO

Di seguito sono riportati alcuni termini utilizzati nell'elaborato, seguiti da rispettiva definizione.

FERITA CRONICA: ferita che non mostra alcuna tendenza alla guarigione neanche dopo 6-8 settimane di cure. Non evolve verso i normali processi riparativi ma rimane uguale o addirittura peggiora. Questo è spesso dovuto a condizioni mediche sottostanti, come problemi circolatori, infezioni o diabete. Nel caso di lesione cronica del rivestimento cutaneo o mucoso si parla di ulcera.

FERITA ACUTA: ferite che guariscono entro le 6-8 settimane, siano esse dovute a evento traumatico o a procedura chirurgica.

TESSUTO DI GRANULAZIONE: nuovo tessuto che si forma durante la seconda fase del processo di guarigione. Si presenta come una superficie granulosa, ricca di fibroblasti e nuovi vasi sanguigni. Origina dai margini della ferita e si comporta da impalcatura per lo strato di epitelio che poi andrà a ricoprirlo.

BIOBURDEN: è la carica microbica, ovvero la popolazione di microrganismi vitali presenti in un prodotto.

ESSUDATO: risultato dei fenomeni che si svolgono nei vasi sanguigni nel corso dell'infiammazione e in seno al tessuto infiammato. Consiste di una parte liquida derivante dal plasma sanguigno e di una parte corpuscolata costituita dagli elementi del sangue e altri elementi cellulari. Si distinguono diverse forme di essudato, a seconda della sua particolare composizione. È importante perché non si può parlare di infiammazione ove non sia dimostrabile la presenza di essudati. Il riassorbimento degli essudati è una delle condizioni indispensabili per la guarigione del processo infiammatorio. Essa avviene appunto per liquefazione delle cellule dell'essudato, che vengono ridotte ad un detrito granulare, poi trasportato via dalla corrente linfatica o digerito dai leucociti.

NECROSI: processo di mortificazione di singoli elementi cellulari o di un insieme di essi nell'organismo vivente. È causata da una serie di alterazioni e avviene in maniera rapida, modificando in maniera profonda la struttura degli elementi cellulari.

TESSUTO NECROTICO: tessuto morto o danneggiato in un organismo vivente, risultato di un processo di necrosi.

ESCARA: parte morta di un tessuto, separata dai tessuti sani circostanti e destinata a essere eliminata e sostituita da una cicatrice. È quindi una forma specifica di tessuto necrotico, caratterizzata dalla presenza di una crosta formata da siero, sangue o pus. Può essere friabile o molto dura e si forma come conseguenza della morte delle cellule mediante necrosi. Si forma per via del normale processo di guarigione del corpo, che isola il tessuto necrotico dal tessuto sano circostante.

SLOUGH: è un altro tipo di tessuto devitalizzato che aderisce al letto della lesione in filamenti o ammassi ispessiti. È uno dei sottoprodotti della fase infiammatoria della guarigione delle ferite, è composto da fibrina, leucociti, cellule morte e viventi, microorganismi, materiale proteico.

BIOFILM: sottile pellicola di microrganismi adesa a un supporto solido inerte immerso in un mezzo liquido di crescita. All'interno del biofilm i batteri crescono lentamente formando colonie. Il biofilm è altamente organizzato al suo interno, con complessi meccanismi di regolazione e di comunicazione cellula-cellula: i batteri più interni sono metabolicamente meno attivi, i più esterni hanno migliori caratteristiche metaboliche. La loro disposizione comprende canali attraverso i quali il fluido circostante circola nella matrice portando i nutrienti e allontanando i prodotti tossici. La pericolosità della presenza di biofilm all'interno di una ferita sta nel fatto che i batteri che lo compongono sono 1000-1500 volte più resistenti ad antibiotici rispetto a batteri liberi. Inoltre, stimolano una risposta infiammatoria cronica pericolosa per l'organismo, e possono dividersi in frammenti che si possono disperdere nell'organismo vivente causando la formazione di più colonie.

2. LA GESTIONE DELLE FERITE

Alcune ricerche stimano che in futuro sarà sempre più grande il numero di persone che necessiteranno di trattamenti per la cura delle ferite. In Europa si stima che circa 1.5 – 2 milioni di persone vivano con ferite croniche. Negli Stati Uniti questo numero si alza a 6.5 milioni. Sono tutti numeri per i quali è prevista una crescita e i motivi sono molteplici, primo fra tutti il significativo aumento dell'aspettativa di vita a cui stiamo assistendo negli ultimi decenni: poiché la popolazione invecchia sempre di più si prevede un numero sempre maggiore di problemi legati alla salute.

Anche l'aumento della frequenza di casi di persone affette da diabete incide su questa statistica. Infatti, nei pazienti il diabete può provocare una serie di complicanze a livello della cute e dei tessuti molli, che possono portare alla formazione di ulcere cutanee soprattutto negli arti inferiori. Alcuni studi [15] dimostrano che tra il 19% e il 34% di persone affette da diabete sviluppa ulcere nel corso della vita. Queste ulcere sono molto difficili da gestire e spesso si rivelano non curabili e portano ad un elevato rischio di infezioni, ospedalizzazioni e amputazioni.

Le ferite possono essere causate anche da altre circostanze, come un intervento chirurgico, un infortunio, o come conseguenza di fattori come pressione sanguigna o problemi cardiovascolari. Qualsiasi sia la loro causa, possono tutte avere effetti gravi per la vita dei pazienti che ne soffrono. Per questo la vulnologia, la branca della medicina che si occupa del trattamento delle lesioni cutanee, e in particolare del trattamento di ferite croniche a lenta guarigione, ha sempre più bisogno di innovarsi e reinventarsi. Nuove tecnologie per il trattamento delle ferite e nuovi approcci alla gestione dei pazienti si stanno sviluppando in questi ultimi anni con lo scopo di migliorare sempre più la qualità della vita di pazienti coinvolti in questo tipo di problematiche.

2.1 COSTI DELLA CURA DELLE FERITE

Le ferite croniche hanno un grande impatto sia sulla qualità della vita delle persone che ne soffrono, sia sul sistema sanitario. Si stima che la spesa per la cura delle ferite riguardi circa il 3% del costo sanitario mondiale [2]. Questa spesa comprende non solo i materiali, come garze o creme, utilizzati dal personale sanitario per la cura, il cui costo incide solo per il 15% circa del totale. La spesa più grande è quella legata ai costi dei ricoveri ospedalieri, che copre circa l'80-85% del totale. Al suo interno, la fetta più grande la occupa la spesa per l'ospedalizzazione vera e propria, che comprende il posto in ospedale e tutte le risorse, mediche o amministrative, ad esso correlate. L'altra parte da tener in considerazione in un ricovero ospedaliero è il tempo del

personale sanitario. La spesa per pagarlo occupa circa il 35% del totale, una fetta quindi molto ampia.

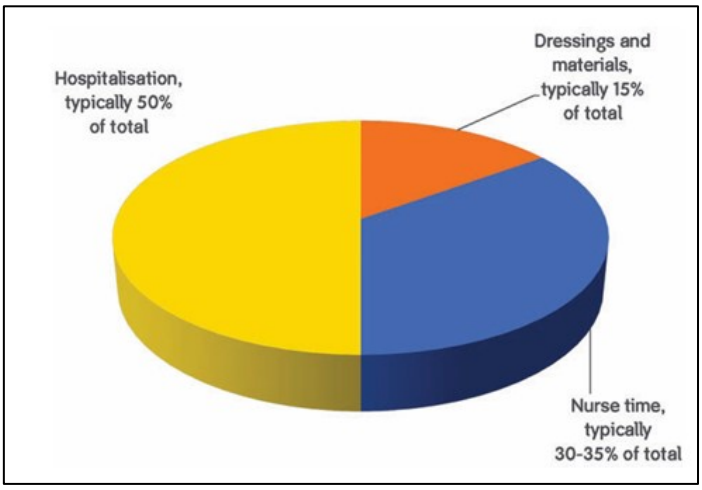

Figura 1: Utilizzo delle risorse per il trattamento delle ferite [2]

Ma in che modo queste spese aumentano? Da cosa sono influenzate?

Sicuramente il fattore che maggiormente pesa sulla spesa totale della cura delle ferite è il tempo. Un tempo di guarigione più lungo corrisponde a maggiori costi, che comprendono sia la spesa per i trattamenti e il personale sanitario, sia le eventuali spese che potrebbero incorrere se si andasse incontro a complicanze. Quando si inizia un ciclo di trattamenti di guarigione è quindi importante valutare come prima cosa la durata del ciclo, in modo da concentrarsi sul renderlo il più breve possibile. Per farlo è necessario iniziare la cura in maniera tempestiva perché intervenire subito è essenziale per evitare che la ferita si evolva in un ambiente non adatto alla guarigione. Inoltre, è importante considerare varie metodologie tra le tante disponibili in modo da trovare quella che più si addice al caso del paziente. Sfruttando un metodo piuttosto che un altro, c'è la possibilità di ottenere una guarigione più rapida. Un'attenta ed esperta valutazione è però necessaria per poter capire qual è il metodo più adatto ad ogni tipo di lesione e/o paziente.

Secondo fattore che influisce sulla spesa è la frequenza con cui si cambiano medicazioni o si svolgono trattamenti. Svolgere trattamenti con maggiore frequenza vuol dire aumentare il rischio di complicazioni (che possono nascere ad esempio durante un cambio di medicazione); significa aumentare il costo per via del maggior numero di materiali / strumenti utilizzati ma significa soprattutto spendere di più per pagare il personale sanitario che li svolge. Una riduzione della frequenza di questi trattamenti sarebbe sicuramente positiva. Ovviamente però è da valutare attentamente la possibilità di fare ciò in ogni specifico caso. Questo perché bisogna ricordare che al primo posto ci deve essere il paziente, e che la sua guarigione e il suo benessere sono gli

obiettivi primari che si devono tenere in considerazione. È quindi da verificare quale possa essere una frequenza ottimale.

Ultimo fattore, molto importante, è l'avvicendarsi di altre morbosità in concomitanza con la ferita. Può ad esempio accadere che durante il processo di cura la ferita si infetti. Questo tipo di incidente porterà sicuramente ad un aumento dei costi dal momento che la cura di una lesione infetta richiederà dei trattamenti più frequenti e più accurati, una maggiore competenza del personale sanitario, e un più lungo tempo di gestione. Un'infezione può anche necessitare, in casi più complicati, di interventi chirurgici.

Tutti questi fattori influenzano negativamente il processo di guarigione e la spesa complessiva che ne risulta. L'obiettivo del medico o degli operatori sanitari sarà quindi quello di ridurre il tempo di guarigione, ottimizzando la frequenza di cambio medicazioni o di svolgimento dei trattamenti, e prevenendo le infezioni.

2.2 PREPARAZIONE DEL LETTO DELLA FERITA: APPROCCIO T.I.M.E.

La completa e rapida guarigione di una ferita è quindi l'obiettivo primario di ogni processo di cura. La guarigione è un processo fisiologico del nostro corpo, ma per via di particolari circostanze che non permettono un fisiologico andamento dell'infiammazione non sempre il processo si rivela lineare. È quindi talvolta necessario intervenire, preparando un sano e pulito letto della ferita, in modo da aiutare il corpo nella guarigione. Per avere un approccio comune e strutturato alla preparazione del letto della ferita, è stato coniato nel 2003 da un gruppo internazionale di esperti di vulnologia l'acronimo T.I.M.E. [3]. Questo acronimo rappresenta una guida pratica al trattamento di ogni tipo di ferita. Per valutarne lo stato, secondo questo approccio, bisogna quindi considerare quattro aspetti fondamentali:

- TISSUE: valutazione e rimozione del tessuto non vitale dalla superficie della ferita. Spesso le ferite contengono tessuto devitalizzato che impedisce la guarigione se non viene rimosso. È quindi necessario rimuoverlo attraverso tecniche di sbrigliamento. In questo modo la ferita può evolvere creando nuovo tessuto di granulazione sano.
- INFECTION / INFLAMMATION: valutazione della carica batterica e controllo dell'infiammazione. La presenza di microrganismi patogeni all'interno della ferita può provocare un'infezione, che causa infiammazione. Se presente infiammazione, il normale processo di guarigione può essere bloccato. È quindi importante controllare e limitare l'infiammazione attraverso l'uso di antibiotici e antisettici.

- MOISTURE IMBALANCE: controllo e mantenimento di un livello ottimale di umidità nella ferita. Alcuni studi dimostrano che per permettere la guarigione, il letto della ferita deve avere un livello di umidità ottimale. Sia una ferita troppo secca, sia una ferita troppo umida, non permettono la guarigione. Se necessario bisogna quindi sfruttare medicazioni appropriate per mantenere il giusto livello di umidità nel letto della ferita, come ad esempio creme a base di idrogel.
- EDGE OF WOUND: valutazione della grandezza e dell'andamento dei margini della ferita. I bordi dovrebbero naturalmente migrare verso il centro, per riattivare la fase di riepitelizzazione, in modo da rimpicciolire la lesione. Per supportare questo processo si può intervenire con metodi di sbrigliamento indiretto, stimolando le cellule.

Dal momento in cui è stato coniato l'acronimo T.I.M.E. sono emerse numerose nuove terapie e sviluppi nel campo della vulnologia. Le conoscenze sul trattamento delle ferite, sia croniche che acute, sono aumentate considerabilmente e con loro anche i trattamenti disponibili.

Per necessità, sono da considerare quindi anche altri aspetti riguardanti l'evoluzione della ferita che comprendano tutte le conoscenze ed approcci ad oggi sviluppati. Uno sviluppo importante riguarda l'utilizzo di nuovi metodi più tecnologici, come gli ultrasuoni o la terapia a pressione negativa, che si stanno espandendo ancora negli ultimi anni. Altri sviluppi da considerare sono il riconoscimento e la presenza di biofilm nel letto della ferita, che possono complicare e allungare il processo di guarigione, oppure il ruolo di particolari fattori o enzimi nella rigenerazione tessutale o nella stimolazione cellulare.

Nonostante questo, i principi alla base del T.I.M.E. sono tuttora validi, e rappresentano un importante e necessario punto di partenza per valutare ed affrontare un trattamento di sbrigliamento.

3. SBRIGLIAMENTO DELLE FERITE

Passo fondamentale del processo di guarigione di una ferita è quindi lo sbrigliamento. Per sbrigliamento si intende la procedura medica che consiste nella rimozione di materiale necrotico, escara, tessuti devitalizzati, tessuti siero-crostosi, tessuti infetti, slough, pus, ematoma, corpi estranei, detriti, frammenti ossei o qualsiasi altro tipo di bioburden da una ferita, con l'obiettivo di favorirne la guarigione.

Bisogna prestare attenzione alla differenza, sottile ma importante, tra sbrigliamento e detersione. Esse sono infatti due procedure mediche diverse. La detersione è solo uno dei passi del più completo processo di sbrigliamento, che ha lo scopo di eliminare contaminanti e microrganismi, in modo da creare un letto della ferita pulito in cui sia ridotto il rischio di infezioni ed in cui venga promossa la formazione di nuovo tessuto sano. Solitamente la detersione avviene prima e dopo lo sbrigliamento vero e proprio, con soluzioni antisettiche apposite. È importante pulire bene anche i bordi della ferita in modo da ridurre il rischio di contaminazione di batteri che possono migrare dai bordi.

Lo sbrigliamento quindi, a differenza della detersione, ha lo scopo di rimuovere componenti sia microbiche che non microbiche, quindi anche tessuto necrotico, biofilm e altri materiali.

3.1 TECNICHE DI SBRIGLIAMENTO

Le tecniche che esistono al giorno d'oggi per effettuare sbrigliamento delle ferite sono molte. Ognuna di queste tecniche utilizza modalità e principi differenti. Per questo ognuna ha i suoi svantaggi e vantaggi. Possono essere raggruppate in due macrocategorie, che dividono le tecniche di sbrigliamento diretto dalle tecniche di sbrigliamento indiretto.

Le tecniche dirette di sbrigliamento sono quelle che agiscono tramite un'azione diretta sulla ferita. Che sia per via meccanica, ad esempio con bisturi o pinzette, oppure in modo non meccanico, quindi attraverso medicazioni di vario tipo, queste tecniche svolgono in modo diretto l'azione di sbrigliamento. Le tecniche meccaniche sono solitamente più invasive delle altre, ma spesso consigliate nel caso di ferite estese o in caso di necessità di un'azione rapida. Le tecniche di sbrigliamento non meccanico rimuovono solo tessuto necrotico o devitalizzato. Per questo sono meno dolorose e più sicure, poiché diminuiscono il rischio di complicanze derivate dal danneggiamento di tessuto sano. Sono quindi adatte in caso di ferite croniche e/o pazienti fragili o con bassa soglia del dolore.

Le tecniche indirette di sbrigliamento sono invece quelle che funzionano attraverso l'attivazione nella ferita di elementi e condizioni che promuovono conseguentemente lo sbrigliamento. Agiscono quindi tramite stimolazione delle cellule presenti nel letto della ferita.

Ci sono poi tecniche miste, come ad esempio lo sbrigliamento a ultrasuoni, che svolgono contemporaneamente sbrigliamento diretto e indiretto.

Come già detto, ognuna di queste tecniche ha i suoi vantaggi e svantaggi. Quando si deve trattare una ferita e si ritiene opportuno iniziare un trattamento di sbrigliamento, il medico deve optare per la tecnica più consona allo specifico caso. Spesso una sola di queste tecniche non basta, e si rivela necessario optare per una terapia che ne sfrutti più di una. Nella scelta della tecnica di sbrigliamento hanno peso diversi fattori.

Primo tra tutti le competenze dello staff medico che compirà la procedura. Alcuni metodi, affinché funzionino, richiedono maggiore preparazione rispetto ad altri. Un medico dovrà quindi tener conto delle sue personali conoscenze affinché il trattamento possa dare i suoi benefici.

Secondo fattore è il costo della procedura. Alcune tecniche sono molto più costose di altre poiché necessitano di migliore formazione del personale, tipi di sterilizzazione più complessi o sfruttano tecnologie più costose e avanzate. Talvolta c'è quindi anche da tenere in considerazione la disponibilità economica del paziente.

Altro fattore importante da valutare è il tipo di ferita che si andrà a trattare. Prima di scegliere se effettuare sbrigliamento e il tipo di tecnica per effettuarlo è necessaria un'accurata diagnosi della lesione. Di questa diagnosi è importante tenere in considerazione i tipi di tessuto che ricoprono la ferita, lo stato di umidità, e altri fattori rilevanti attinenti alla situazione della ferita stessa. Alcuni metodi possono essere più efficienti nel caso di ampie zone di tessuto necrotico, altri in presenza di lesioni con molto tessuto infetto.

Ultimo fattore, non per importanza, da tenere in considerazione è il paziente. Che sia l'età, l'ambiente in cui vive, la sua disponibilità economica, o la qualità della sua vita, ogni fattore riguardo il paziente che si andrà a trattare è fondamentale. Tra questi, molto importante è anche la sua capacità di gestire il dolore. Si opta per tecniche meno invasive (quindi meno dolorose) nel caso di pazienti che hanno una maggiore età oppure che hanno una minore qualità della vita.

3.1.1 SBRIGLIAMENTO CON TAGLIENTI

Questa prima tecnica è la più utilizzata al giorno d'oggi. Consiste nella rimozione di tessuto non sano tramite l'utilizzo di strumenti taglienti, bisturi, forbici e/o pinzette. È molto utile se è necessario un rapido intervento sulla ferita, dato che può essere eseguita al letto del paziente o in ambulatorio da un operatore senza particolari settings e senza la necessità di somministrare anestesia. Appunto per questo è considerata fondamentale nel processo di preparazione del letto della ferita nelle terapie conservative di sbrigliamento. L'efficacia della tecnica in questi casi dipende anche dalla frequenza con cui si svolgono i trattamenti.

È necessaria una grande competenza ed esperienza del medico che esegue questa procedura, in quanto può rivelarsi addirittura dannosa se svolta male. Il rischio di danneggiare tessuti sani è molto alto, e potrebbe addirittura portare ad un aggravamento della situazione. Come pratica è piuttosto invasiva

3.1.2 SBRIGLIAMENTO CHIRURGICO

Lo sbrigliamento chirurgico prevede l'escissione o la resezione di ampie parti di tessuto, inclusa la rimozione di tessuto sano presente ai margini della ferita. Viene effettuato sempre attraverso l'utilizzo di bisturi e/o forbici o oggetti taglienti. Ciò che lo differenzia dallo sbrigliamento con taglienti è il fatto che lo sbrigliamento chirurgico avviene in una sala operatoria, e richiede solitamente l'utilizzo di anestesia.

È quindi una pratica molto invasiva che può provocare molto dolore nel paziente. Per essere effettuata è necessario personale ben qualificato e specializzato. Questo perché è molto facile danneggiare in modo grave i tessuti sani presenti ai bordi della ferita. Il danneggiamento dei vasi sanguigni potrebbe portare ad un significativo sanguinamento, mentre eventuali complicanze che potrebbero occorrere in seguito al danneggiamento di nervi o altri tessuti, potrebbero richiedere ricostruzioni o correzioni in futuro.

3.1.3 SBRIGLIAMENTO MECCANICO

Lo sbrigliamento meccanico comprende i tradizionali metodi di sbrigliamento non selettivo, che quindi portano alla rimozione sia di tessuti devitalizzati, sia di tessuto sano. Può avvenire attraverso una soluzione di irrigazione oppure con il metodo wet-to-dry. Quest'ultimo prevede l'utilizzo di garze imbevute che, asciugandosi, aderiscono allo strato superficiale del letto della ferita il quale viene 'strappato via' al momento della rimozione della medicazione.

Lo sbrigliamento meccanico è una tecnica facile da eseguire e piuttosto economica, utilizzata principalmente nella prima fase di sbrigliamento. Il suo utilizzo è molto diminuito con l'introduzione di nuove tecniche più moderne che tendono ad essere meno dolorose per il paziente e non prevedono il frequente cambio di medicazione.

3.1.4 SBRIGLIAMENTO BIOLOGICO

Questa tecnica sfrutta larve viventi, solitamente di Lucilia Sericata, che dopo essere state allevate in condizioni di sterilità, sono collocate su ferite necrotiche.

La terapia larvale è stata per lungo tempo poco utilizzata, a favore di altri tipi di terapie più comuni come sbrigliamento con taglienti o autolitico. Ma in questi ultimi anni, per via della crescita esponenziale del numero di ferite croniche, e per l'affiorare di alcuni ceppi batterici antibiotico resistenti, sta riprendendo piede nonostante lo scetticismo di molti. La diffidenza quindi, sia tra il personale sanitario sia tra i pazienti, nell'utilizzare delle larve per curare le ferite non ne ha impedito l'utilizzo anche perché in alcuni casi la necessità di trovare terapie alternative per pazienti che non potevano sottoporsi a chirurgia ne ha favorito la diffusione.

Le larve di Lucilla Sericata agiscono su tre livelli: secernono enzimi e fattori che hanno azione antimicrobica, si nutrono di alcuni tessuti non sani, e stimolano la guarigione per via del loro movimento sul letto della ferita. Infatti, quando si nutrono dell'essudato e del tessuto necrotico all'interno della lesione lasciano indenni i tessuti vitali. Quando ingeriscono il tessuto liquefatto inoltre, neutralizzano i batteri nel loro intestino oppure li immagazzinano evitando la contaminazione. Seconda azione benefica che svolgono è legata al tipo di secrezioni che rilasciano. Alcuni enzimi proteolitici sono contenuti all'interno dei succhi gastrici secreti dalle larve, che sbrigliano selettivamente il tessuto necrotico, con modalità analoghe a quelle spiegate nel prossimo capitolo (sbrigliamento enzimatico). Terzo modo in cui agiscono è tramite il loro movimento. Con la loro agitazione sul letto della ferita, stimolano la produzione di essudato, favorendo la rimozione dei batteri e aumentando così l'idratazione della ferita stessa, necessaria per permettere una successiva guarigione.

3.1.5 SBRIGLIAMENTO ENZIMATICO

Lo sbrigliamento enzimatico utilizza enzimi proteolitici che agiscono in sinergia con gli enzimi endogeni. È un metodo usato per rimuovere tessuto necrotico da ferite croniche.

Gli enzimi sono proteine che hanno un ruolo primario come catalizzatori nei sistemi biologici. Gli enzimi proteolitici in particolare hanno la funzione di idrolizzare i legami peptidici, contribuendo alla degradazione di cellule danneggiate e materiale necrotico. Inoltre, svolgono un ruolo nel restringimento della ferita, nell'assorbimento dell'ematoma e nella riduzione del dolore. Attualmente vengono utilizzati soprattutto gli enzimi collagenasi, bromelina e papaina, soprattutto per lo sbrigliamento di ustioni e ulcere croniche.

La collagenasi permette la rottura delle fibre di collagene nei tessuti necrotici, così da permettere poi la rimozione del tessuto necrotico dalla ferita. La bromelina, un enzima proteolitico e idrolitico presente nell'ananas, ha la capacità di riconoscere e digerire proteine denaturate. La papaina, estratta dal frutto immaturo della papaia, può digerire tessuti non vitali, riconoscendo proteine contenenti cistina. È spesso utilizzata non da sola, ma con altri enzimi proteolitici o attivatori, come l'urea.

Lo sbrigliamento enzimatico può essere utile nei pazienti con ferite in cui lo sbrigliamento meccanico non è un'opzione disponibile o è controindicato come per esempio in pazienti con problemi di sanguinamento. Per garantire l'efficacia di questo metodo è però necessario che nella ferita sia sempre presente un buon livello di umidità, che può essere creata da pomate o unguenti appositi.

3.1.6 SBRIGLIAMENTO AUTOLITICO

Lo sbrigliamento autolitico descrive un processo fisiologico che avviene in tutti i tipi di ferite. Sfrutta i meccanismi naturali dell'organismo (quindi enzimi proteolitici già presenti nella ferita) per sbrigliare il tessuto devitalizzato. Perché si arrivi a guarigione della lesione, deve esserci equilibrio nell'ambiente del letto della ferita, che non deve essere troppo secca ma nemmeno troppo umida. Per questo i prodotti per lo sbrigliamento autolitico, quindi quei prodotti che danno supporto alla ferita durante il processo di guarigione hanno una duplice modalità d'azione: in primo luogo possono donare acqua alle ferite in modo da mantenere un ambiente sufficientemente umido. Contemporaneamente, sono in grado di assorbire liquidi dalle ferite essudanti. I prodotti per lo sbrigliamento autolitico possono essere idrogeli, idrocolloidi, medicazioni assorbenti, idrofibre.

Lo sbrigliamento autolitico è una tecnica poco invasiva, che semplicemente supporta il normale processo di guarigione. La sua funzionalità e molto limitata nel caso di ferite molto grandi o in caso di larga presenza di tessuto devitalizzato e per questo spesso è da affiancare ad una terapia antimicrobica o ad altri tipi di tecniche più invasive, come lo sbrigliamento con taglienti o

sbrigliamento meccanico. In questo modo, affiancando effetti benefici di tecniche diverse, si può avere un risultato ottimale. Altro svantaggio sta nel fatto che è una tecnica molto lenta, e aumenta quindi il rischio di macerazione e infezione durante il trattamento. Per cercare di evitarli è necessario cambiare la medicazione frequentemente e pulire bene la ferita tra un trattamento e l'altro.

4. SBRIGLIAMENTO A ULTRASUONI

Una nuova tecnica di sbrigliamento è l'UAWD (Ultrasound-Assisted Wound Debridement) che sfrutta gli ultrasuoni a bassissima frequenza (20 – 60 kHz). È una tecnica ancora in via di ottimizzazione, nata in seguito ai primi tentativi di applicazione degli ultrasuoni in odontoiatria negli anni '50. Da quel momento, la tecnologia è stata adattata per l'impiego su tessuti molli e per l'ablazione tissutale.

È noto che a seconda delle frequenze dell'onda e dell'intensità dell'energia meccanica trasmessa, gli ultrasuoni sono in grado di produrre effetti diversi su diverse strutture cellulari. L'applicazione più nota degli ultrasuoni in medicina è sicuramente quella correlata al campo della diagnostica per immagini (ad esempio per le ecografie), dove vengono utilizzati ultrasuoni con frequenza dell'ordine dei MHz. Scendendo nella scala delle frequenze e raggiungendo frequenze attorno gli 1 – 3 MHz, si possono sfruttare gli ultrasuoni in ambito fisioterapeutico. A queste frequenze, infatti, gli ultrasuoni hanno prevalentemente effetto termico e possono essere utilizzati per il trattamento di patologie muscoloscheletriche. Abbassando ancora la frequenza, stando nel range dei 20 – 60 kHz si arriva all'applicazione utile in vulnologia. Sono infatti queste le frequenze delle onde ultrasoniche utili per le procedure di sbrigliamento.

4.1 PROPAGAZIONE DELL'ONDA

Per ultrasuoni si intende onde meccaniche sonore che viaggiano a frequenze superiori rispetto a quelle udibili dall'orecchio umano, convenzionalmente superiori ai 20kHz. Sono onde longitudinali che trasportano energia meccanica attraverso le vibrazioni locali delle particelle del mezzo fluido in cui si propagano. Durante la propagazione dell'onda, le particelle si dislocano dalla loro posizione di equilibrio per via della pressione acustica nella direzione parallela al moto dell'onda. Quando la pressione nel mezzo aumenta le particelle si muovono avvicinandosi le une alle altre. Quando la pressione diminuisce invece, le particelle si allontanano. È questo cambiamento nella densità delle particelle in un determinato punto che determina la pressione acustica dell'onda, che a sua volta determina la velocità con cui si muovono le particelle.

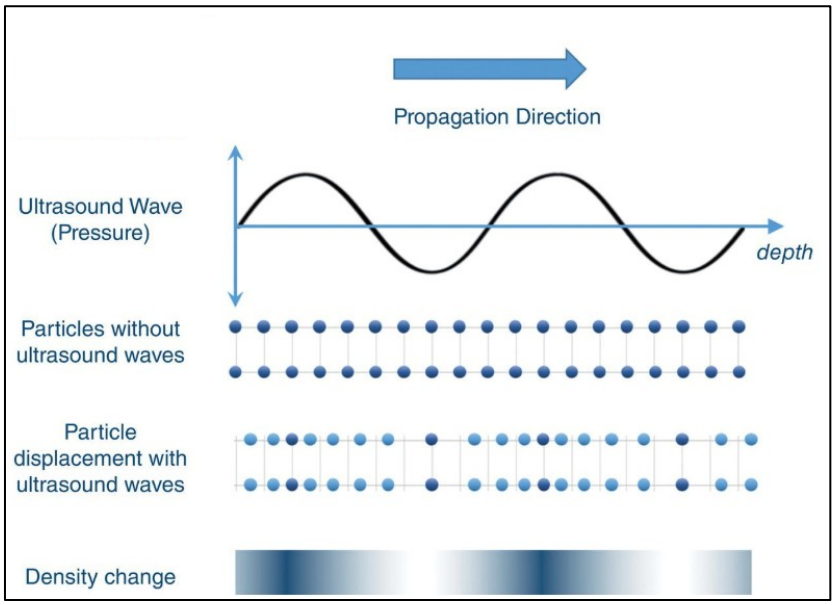

Figura 2: Propagazione di onde longitudinali; [8]

È da far presente che la velocità con cui si muovono le particelle attorno il loro punto di equilibrio è diversa dalla velocità di propagazione dell'onda. La prima dipende dalla pressione acustica e dall'impedenza acustica caratteristica del materiale. L'impedenza acustica di un materiale è l'effettiva resistenza che un mezzo pone al passaggio di una pressione.

$$v(t) = \frac{P(t)}{z}$$

La velocità di propagazione dell'onda è invece la velocità di propagazione del suono c, ed è dipendente dalla densità e dal modulo di compressibilità del mezzo.

$$c = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$

Le onde ultrasoniche però non si propagano nello stesso modo in tutti i mezzi. Quando un'onda viene emessa, incontra nel suo cammino una serie di mezzi diversi che interagiscono con essa. Il comportamento dell'onda ultrasonica dipende sia dalle caratteristiche fisiche dell'onda emessa, sia dalle caratteristiche fisiche del mezzo in cui si propaga. Entrambe sono quindi importanti per capire l'effetto che l'onda provocherà sul tessuto. Ogni mezzo ha una propria resistenza Z_i. Nel momento in cui l'onda ultrasonica interagisce con la superficie di contatto che si pone tra un mezzo e il successivo, proprio in funzione delle resistenze dei due mezzi Z_A e Z_B, una parte di onda viene trasmessa mentre un'altra parte viene riflessa, disperdendosi. In funzione dell'intensità dell'onda generata i coefficienti di riflessione e di trasmissione, che indicano la parte di onda trasmessa e riflessa, sono i seguenti:

$$R_I = \left(\frac{Z_B - Z_A}{Z_B + Z_A}\right)^2 \qquad T_I = \frac{4 Z_B Z_A}{(Z_B + Z_A)^2}$$

La loro somma varrà sempre 1, dal momento che l'intensità dell'onda non si disperde nel passaggio tra un mezzo e un altro. Si nota che, se i due mezzi sono uguali, ovvero hanno stessa resistenza, ovvero Z_A è uguale a Z_B, il coefficiente di riflessione è uguale a zero. Ciò vuol dire che l'onda viene completamente trasmessa. Se invece la resistenza del secondo mezzo Z_B è molto maggiore della resistenza del primo mezzo Z_A, il coefficiente di riflessione tende ad uno. Questo vuol dire che l'onda viene quasi interamente riflessa, mentre l'onda trasmessa è di entità piccolissima.

La capacità di propagazione dell'onda dipende quindi dalla resistenza dei mezzi che incontra. Nell'ambito biomedicale il mezzo che più di tutti impedisce la trasmissione dell'onda ultrasonica è l'aria. Questo perché ha una resistenza molto bassa (Zaria = 0.0004*10^6 kg/sm^2) rispetto alle resistenze dei tessuti biologici, che sono invece dell'ordine dei 10^6 kg/sm^2. Per ridurre quindi al minimo l'impatto negativo che può occorrere per la presenza di regioni d'aria, bisogna far in modo che l'onda si propaghi in altri mezzi. Ad esempio, durante un'ecografia, viene riempita di gel la zona che intercorre tra la pelle e la sonda dalla quale viene trasmessa l'onda. Nello sbrigliamento delle ferite invece, viene sfruttata una soluzione salina per trasmettere l'onda dal manipolo piezoelettrico dove viene generata al letto della ferita.

4.2 INTERAZIONE CON I TESSUTI

È quindi noto che in funzione di frequenza e intensità dell'onda trasmessa, l'onda stessa avrà effetti diversi sul tessuto. Più precisamente, sui tessuti gli ultrasuoni possono generare due tipi di effetti: termico e non termico. Questi due effetti sono inseparabili tra loro, ma le loro proporzioni variano con la frequenza e l'intensità dell'onda ultrasonica emessa. Gli effetti termici sono predominanti ad alte frequenze (ordine dei MHz) che sono quindi utilizzate in ambiti come fisioterapia, oncologia, imaging, ….

A basse frequenze prevale invece il fenomeno della cavitazione, che ha conseguenze cliniche positive nel trattamento delle ferite. È basato sulla proprietà degli ultrasuoni di causare vibrazioni meccaniche nel mezzo liquido in cui si propagano. Se nel liquido sono presenti parti gassose, quindi nella normale condizione, i nuclei del gas disciolto crescono e collassano sotto l'effetto del passaggio dell'onda. Alla loro implosione producono onde d'urto locali, e uno stiramento delle strutture cellulari limitrofe. In questo modo viene esercitata un'azione meccanica in grado di rimuovere tessuto necrotico, detriti cellulari e biofilm batterico senza danneggiare i tessuti vitali circostanti. Si crea inoltre un flusso costante nel mezzo liquido che favorisce la disgregazione dei materiali presenti nel letto della ferita e stimola localmente la proliferazione cellulare e la vascolarizzazione.

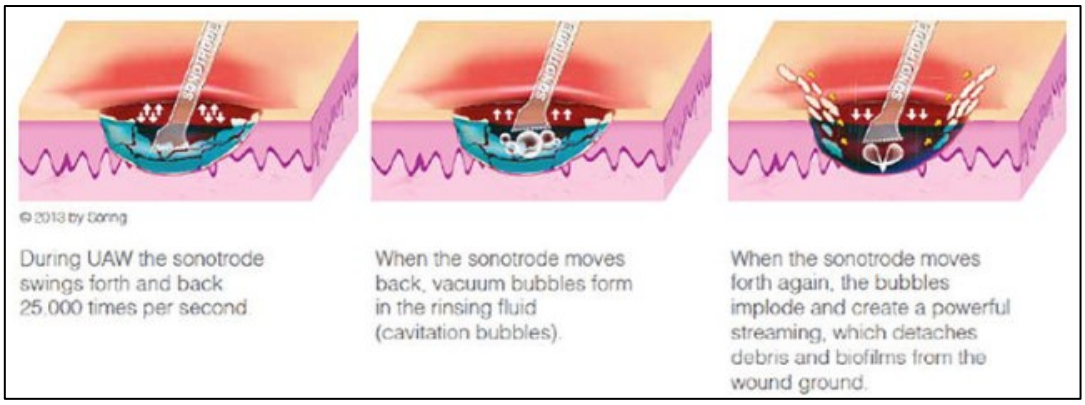

Figura 3: Fenomeno della cavitazione; [11]

Per via di questo fenomeno lo sbrigliamento delle ferite con ultrasuoni si rivela quindi una tecnica molto valida, poiché induce il processo di guarigione sia in modo diretto sia in modo indiretto. In modo diretto attraverso l'azione meccanica che il mezzo fluido esercita sulla ferita e attraverso l'azione esercitata dall'implosione delle bolle. In modo indiretto attraverso la stimolazione cellulare che avviene per via del fenomeno della cavitazione.

4.3 DISPOSITIVI PER LO SBRIGLIAMENTO A ULTRASUONI

Per lo sbrigliamento ad ultrasuoni vengono utilizzati dispositivi complessi, che rappresentano un connubio di componentistica elettronica e componentistica meccanica. Sono formati da più elementi che, agendo in sintonia, producono l'effetto di sbrigliamento desiderato. Quello che succede all'interno di un dispositivo di questo tipo può essere sintetizzato come segue:

- Un generatore produce un segnale elettrico ad alta frequenza (ultrasuono a bassa frequenza). Quando il segnale arriva al manipolo, un trasduttore posto su di esso lo converte in vibrazione

meccanica. Questa vibrazione meccanica è amplificata da elementi posti attorno al trasduttore e dalla punta. In questo modo viene aumentata l'efficacia dello sbrigliamento. La punta trasmette poi la vibrazione al tessuto da trattare tramite la soluzione di irrigazione e tramite contatto diretto con la ferita se il dispositivo lo prevede.

Figura 4: Esempio di un dispositivo per lo sbrigliamento a ultrasuoni, Surgysonic wound di Esacrom; [13]

Cosa succede esattamente in ogni componente del dispositivo?

Innanzitutto, la generazione degli ultrasuoni è basata sull'effetto piezoelettrico. Esso descrive la relazione tra la pressione meccanica e la tensione elettrica nei solidi. Non tutti i materiali vantano dell'effetto piezoelettrico, ma è una proprietà dei materiali anisotropi, ovvero quei materiali in cui il valore di una grandezza fisica o le modalità di un fenomeno dipendono, a parità di ogni altra condizione, dalla direzione che si considera. In questi materiali, sotto l'influenza di un campo elettrico, i portatori di carica vengono spostati all'interno del materiale, determinando una variazione macroscopica della grandezza del materiale stesso. Se invece il materiale è sottoposto ad una tensione elettrica alternata, le particelle nel mezzo iniziano a vibrare producendo vibrazioni. In questo modo si verifica un propagarsi dell'onda ultrasonica, attraverso l'alternarsi di zone di compressione e di rarefazione. Il trasduttore ultrasonico è quindi composto, tra gli altri, di un elemento piezoelettrico, di solito un materiale ceramico, e da elettrodi che applicano la tensione alternata.

Una volta che l'onda è stata generata, le vibrazioni meccaniche vengono trasferite al terminale del dispositivo, attraverso le comuni modalità con cui vengono trasferiti gli ultrasuoni. Il terminale

è composto tipicamente di una sonda metallica o di una lama sottile che ha la funzione di amplificare e trasmettere la vibrazione meccanica. Ogni produttore offre una serie di punte, ognuna adibita ad una specifica esigenza. Queste punte possono essere progettate per uso singolo oppure per più utilizzi. Questa scelta è condizionata dal materiale utilizzato per produrla e dall'usura dello stesso o dalla fattibilità di sterilizzazione dopo il contatto con materiale biologico, oppure da varie motivazioni commerciali. Possono essere di vari materiali, ma sono generalmente costruite in titanio, acciaio chirurgico o alluminio. Hanno anche forma intercambiabile: per adattarsi a varie esigenze cliniche ne esistono di vari tipi. Ad esempio, le punte con forma sferica o a doppia-sfera sono indicate per avere un effetto meno invasivo sulla ferita, per uno sbrigliamento più leggero o per servire pazienti particolarmente sensibili al dolore. Sono spesso utilizzate soprattutto nella prima fase "preparatoria" di sbrigliamento. Le punte con forma a spatola permettono invece lo sbrigliamento di tessuti più duri. Esistono altrimenti altre forme (cilindrica, a cono, …) che sono adatte allo sbrigliamento di zone difficili da raggiungere o ad un tipo di sbrigliamento più incisivo. Possono inoltre essere seghettate per avere un effetto più incisivo di sbrigliamento e/o micro-affilate. Alcune possono inoltre essere diamantate, in modo da essere più resistenti e durature.

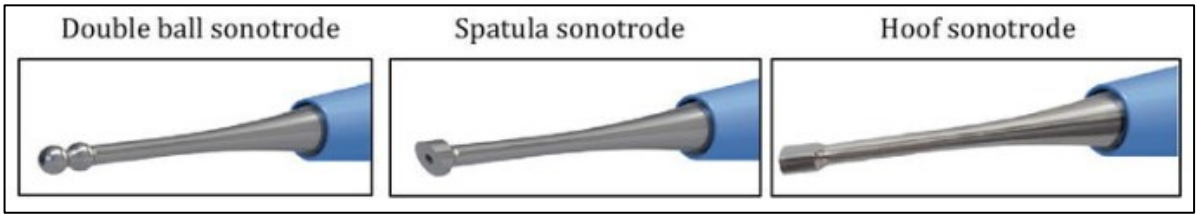

Figura 5: Diversi tipi di punte; [11]

Come già accennato, per far sì che le onde ultrasoniche si propaghino, seve un mezzo solido o fluido che permetta la propagazione. Per questo, è necessario utilizzare una soluzione di irrigazione per ottimizzare il passaggio degli ultrasuoni dal manipolo al letto della ferita. La soluzione può arrivare alla punta del manipolo tramite l'interno dello stesso oppure tramite un tubo attaccato all'esterno della punta. Questa scelta dipende da varie motivazioni tecniche ed economiche.

Quello di permettere una migliore propagazione delle onde non è però l'unico motivo per cui una soluzione di irrigazione è necessaria in questo tipo di dispositivo. Infatti, è proprio grazie alla propagazione degli ultrasuoni attraverso un mezzo fluido che si genera il fenomeno di cavitazione, che permette tutti i vantaggi che lo sbrigliamento a ultrasuoni offre rispetto alle altre tecniche comuni di sbrigliamento. Inoltre, svolge anche un ruolo di detersione rimuovendo batteri, detriti cellulari e residui di medicazione dal letto della ferita, favorendo un ambiente ottimale per la

guarigione. Ultimo motivo, è che permette di limitare il riscaldamento della punta, che potrebbe causare danni ai tessuti con cui entra in contatto.

Quello del controllo termico è un tema molto importante da affrontare quando si tratta di progettare un dispositivo di questo tipo. Infatti, un eccessivo riscaldamento può portare a gravi danni, sia nel dispositivo in sé, ma soprattutto sul personale sanitario e sul paziente che usufruisce della procedura. Per mantenere il dispositivo ad una temperatura ottimale si fa attenzione quindi a programmare un'interruzione ciclica della vibrazione (i dispositivi spesso possono funzionare in modalità pulsata) o a limitare la potenza massima trasmessa dal generatore, che non può eccedere i limiti. Terzo fattore è la soluzione di irrigazione che, come già accennato, ha anche funzione di raffreddamento. In ogni caso, le frequenze alle quali vengono generati gli ultrasuoni per questo tipo di procedure sono molto basse, quindi gli effetti termici sono limitati.

Tutto il dispositivo è regolato da un pannello di controllo, dal quale si possono impostare i parametri per ottenere un'azione di sbrigliamento specifica, a seconda del giudizio del medico e in base al confronto con il manuale d'uso. Tra le prime cose che si possono impostare ci sono le caratteristiche del sistema di irrigazione, ovvero la portata e la modalità del flusso, che può essere continuo o a impulsi e che permette di controllare il raffreddamento e il lavaggio del sito.

Alcuni dispositivi poi, permettono di impostare un timer in modo da definire in modo più preciso la durata del trattamento. In questo modo il medico può essere sicuro che il ciclo di terapia non ecceda i limiti accordati in precedenza: un trattamento troppo lungo potrebbe danneggiare i tessuti.

Ultima caratteristica da impostare può essere il sistema di aspirazione. Alcuni dispositivi, infatti, possiedono un sistema di aspirazione, utile per ripulire la zona trattata da materiale di scarto. Solitamente sono forniti dei protocolli preimpostati che aiutano il medico o il personale specializzato nella scelta dei parametri da impostare sul dispositivo. Ognuno di questi protocolli è appositamente creato per uno specifico tipo di ferita e per una specifica punta adatta.

Una volta impostati sul display tutti i parametri necessari e scelta la punta opportuna, il manipolo è di solito attivato da un footswitch, in modo da far avere all'operatore più controllo e sicurezza. Il footswitch può essere posto in modo da attivare contemporaneamente sia l'irrigazione sia il segnale ultrasonico.

4.4 DISPOSITIVI A CONTATTO DIRETTO E NON A CONTATTO DIRETTO

Come già accennato nel paragrafo precedente, i dispositivi ad oggi in commercio per effettuare sbrigliamento delle ferite tramite ultrasuoni possono essere di due tipi: i dispositivi che agiscono tramite contatto diretto con la ferita da trattare, e quelli che invece non prevedono questo contatto. Questi ultimi trasmettono gli ultrasuoni alla ferita solamente attraverso il fluido di irrigazione (mist), e non sfruttano l'azione di sbrigliamento meccanico che si otterrebbe se la punta del manipolo entrasse in contatto con la lesione. L'efficacia di questo tipo di dispositivi risiede principalmente nella loro capacità di ridurre la risposta infiammatoria attraverso l'inibizione del rilascio di citochine infiammatorie, e non sulla loro capacità di effettuare sbrigliamento vero e proprio. Altro vantaggio che hanno è quello di provocare poco dolore nel paziente; si rivelano quindi molto utili nel caso di pazienti fragili.

I dispositivi che invece agiscono tramite contatto diretto sono i più comuni da trovare, poiché combinano l'effetto benefico che gli ultrasuoni hanno nella stimolazione cellulare all'effetto di sbrigliamento meccanico dovuto al movimento della punta sulla ferita. Infatti, oltre che tramite il fenomeno di cavitazione, che è indotto per via della presenza del fluido di irrigazione, permettono lo sbrigliamento anche in modo diretto, tramite la vibrazione della punta sul letto della ferita. Molti studi hanno provato l'efficacia di questi dispositivi, osservando l'effetto che un trattamento con questi provoca sulla lesione. È stato dimostrato che il processo riduce significativamente la carica batterica e impedisce la crescita degli stessi. Altri studi dimostrano inoltre che questi dispositivi hanno effetto anche sulla rimozione del biofilm.

Mettendo a confronto questi due tipi di dispositivi si può quindi osservare che quelli tramite contatto diretto risultano più efficaci soprattutto nel caso di ferite con una grande quantità di tessuto necrotico denso. Lo svantaggio principale risiede però nel fatto che la procedura è piuttosto invasiva, e può quindi causare grande dolore nel paziente. Per questo talvolta è necessario l'utilizzo di anestesia. Inoltre, richiede un'elevata esperienza del medico o del personale sanitario che effettua la procedura; in caso contrario è elevato il rischio di danni ai tessuti sani o di infezioni. I dispositivi senza contatto diretto invece possono essere utilizzati abbastanza facilmente anche in ambito domiciliare o ambulatoriale, o per pazienti fragili.

4.5 SBRIGLIAMENTO A ULTRASUONI VS TECNICHE STANDARD

Lo sbrigliamento a ultrasuoni è quindi un metodo innovativo che si è rivelato efficace per lo sbrigliamento di ferite croniche e acute, molto utile anche per il trattamento di ulcere diabetiche e venose. I benefici di questa tecnica sono davvero molto ampi.

Numerosi studi hanno osservato e provato la sua efficacia. Si sono svolti comparando tecniche standard di sbrigliamento (SWC) con l'Ultrasound Assisted Wound Debridement (UAWD), e osservando i risultati in periodi che potevano andare dalle 2 settimane ai 6 mesi [14], [15]. I parametri di osservazione sono stati il tasso di guarigione della ferita e l'eventuale tempo richiesto, l'andamento della superficie della ferita e l'eventuale comparsa di effetti avversi. Inoltre, sono stati osservati parametri come la perfusione sanguigna nella ferita e la presenza di biofilm e/o colonie batteriche. Altro parametro importante osservato è il numero e la frequenza di trattamenti necessari per completare la terapia.

Da questi studi è conseguito che i principali vantaggi dell'UAWD derivano dal fatto che gli ultrasuoni sono in grado di stimolare le cellule coinvolte nel processo di guarigione della ferita. L'UAWD promuove la fibrinolisi e il rilascio di fattori di crescita, inibisce il numero e la crescita delle colonie batteriche già presenti, riduce l'infiammazione, stimola l'angiogenesi ovvero la creazione di nuovi vasi sanguigni e l'ossigenazione sanguigna, distrugge il biofilm batterico già presente e ne previene la formazione di nuovo. Inoltre, soprattutto per quel che riguarda i dispositivi che agiscono senza contatto diretto, provoca in media minor dolore rispetto alle altre tecniche standard di sbrigliamento. Per questo si può utilizzare con più facilità in un range di pazienti più ampio, che comprende anche pazienti particolarmente sensibili al dolore o a tecniche di sbrigliamento più invasive.

Confrontando i risultati ottenuti con pazienti trattati con UAWD e pazienti trattati con tecniche standard, ne è conseguito che tra il primo gruppo il tasso di guarigione era molto più alto. Inoltre, anche il tempo di guarigione di pazienti trattati con UAWD era più corto rispetto la durata necessaria di trattamento per pazienti trattati con tecniche standard: più del 40% delle ferite di pazienti trattati con UAWD, rispetto a pazienti trattati con sola soluzione salina, era guarito dopo sole 12 settimane di trattamento. Anche per quel che riguardava l'efficacia complessiva del trattamento, il primo gruppo ha ottenuto risultati migliori. Altro parametro importante è la riduzione percentuale della grandezza del letto della ferita: la terapia a ultrasuoni ha portato ad una significativa riduzione della grandezza della lesione se comparata a terapie svolte con tecniche standard.

5. CONCLUSIONI

Lo sbrigliamento è un passaggio fondamentale in ogni processo di cura di una ferita, indipendentemente dalla provenienza o dall'entità. Visto, negli ultimi anni, il crescente numero di casi di pazienti che soffrono di ferite croniche, si rende necessario sviluppare nuove tecniche o migliorarne di esistenti, per poter offrire delle cure adatte ad ogni caso specifico.

Lo sbrigliamento a ultrasuoni, grazie alla sua capacità di unire sbrigliamento diretto e indiretto, è per questo molto promettente per le terapie. Non solo permette di ridurre la risposta infiammatoria, ridurre significativamente la carica batterica e stimolare le cellule coinvolte nel processo di guarigione della ferita, ma provoca in media minor dolore e per questo si può utilizzare con più facilità in un range di pazienti più ampio. È necessario un corso di formazione del personale che lo utilizza e una accurata manutenzione delle apparecchiature in tutti i loro componenti, ma è dimostrato che in aggiunta o in sostituzione a tradizionali procedure per la cura di ferite, le terapie con UAWD possono fare la differenza per un buon numero di pazienti e possono contribuire a ridurre le spese sanitarie correnti grazie alla riduzione dei tempi di guarigione.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Sibbald, R. G., Elliott, J. A., Persaud-Jaimangal, R., Goodman, L., Armstrong, D. G., Harley, C., Coelho, S., Xi, N., Evans, R., Mayer, D. O., Zhao, X., Heil, J., Kotru, B., Delmore, B., LeBlanc, K., Ayello, E. A., Smart, H., Tariq, G., Alavi, A., & Somayaji, R. (2021). Wound Bed Preparation 2021. *Advances in skin & wound care*, *34*(4), 183–195. https://doi.org/10.1097/01.ASW.0000733724.87630.d6

[2] Lindholm, C., & Searle, R. (2016). Wound management for the 21st century: combining effectiveness and efficiency. *International wound journal*, *13 Suppl 2*(Suppl 2), 5–15. https://doi.org/10.1111/iwj.12623

[3] Leaper, D. J., Schultz, G., Carville, K., Fletcher, J., Swanson, T., & Drake, R. (2012). Extending the TIME concept: what have we learned in the past 10 years?(*). *International wound journal*, *9 Suppl 2*(Suppl 2), 1–19. https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2012.01097.x

[4] Mayer, D. O., Tettelbach, W. H., Ciprandi, G., Downie, F., Hampton, J., Hodgson, H., Lazaro-Martinez, J. L., Probst, A., Schultz, G., Stürmer, E. K., Parnham, A., Frescos, N., Stang, D., Holloway, S., & Percival, S. L. (2024). Best practice for wound debridement. *Journal of wound care*, *33*(Sup6b), S1–S32. https://doi.org/10.12968/jowc.2024.33.Sup6b.S1

[5] Manna B, Nahirniak P, Morrison CA. Wound Debridement. [Updated 2023 Apr 19]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507882/

[6] Goswami, A. G., Basu, S., Banerjee, T., & Shukla, V. K. (2023). Biofilm and wound healing: from bench to bedside. *European journal of medical research*, *28*(1), 157. https://doi.org/10.1186/s40001-023-01121-7

[7] Dayya, D., O'Neill, O. J., Huedo-Medina, T. B., Habib, N., Moore, J., & Iyer, K. (2022). Debridement of Diabetic Foot Ulcers. *Advances in wound care*, *11*(12), 666–686. https://doi.org/10.1089/wound.2021.0016

[9] Madhok, B. M., Vowden, K., & Vowden, P. (2013). New techniques for wound debridement. *International wound journal*, *10*(3), 247–251. https://doi.org/10.1111/iwj.12045

[10] Ashokkumar M. (2011). The characterization of acoustic cavitation bubbles - an overview. *Ultrasonics sonochemistry*, *18*(4), 864–872. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.016

[12] Chang, Y. R., Perry, J., & Cross, K. (2017). Low-Frequency Ultrasound Debridement in Chronic Wound Healing: A Systematic Review of Current Evidence. *Plastic surgery (Oakville, Ont.)*, *25*(1), 21–26. https://doi.org/10.1177/2292550317693813

[14] Kataoka, Y., Kunimitsu, M., Nakagami, G., Koudounas, S., Weller, C. D., & Sanada, H. (2021). Effectiveness of ultrasonic debridement on reduction of bacteria and biofilm in patients with chronic wounds: A scoping review. *International wound journal*, *18*(2), 176–186. https://doi.org/10.1111/iwj.13509

[15] Liu, E., Hu, X., Zhang, W., Xiao, W., Shen, Y., Luo, Y., Zheng, Z., Zhou, P., He, Y., & Que, H. (2024). Efficacy and safety of ultrasound-assisted wound debridement in the treatment of diabetic foot ulcers: a systematic review and meta-analysis of 11 randomized controlled trials. *Frontiers in endocrinology*, *15*, 1393251. https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1393251

7. SITOGRAFIA

[8] https://radiologykey.com/getting-started/

[11] https://www.intechopen.com/chapters/1163358

[13] https://www.esacrom.com/dispositivi/surgysonic-wound/