

WYBRANE METODY LECZENIA RAN PRZEWLEKŁYCH

Selected methods of treatment of chronic wounds



Justyna Cwajda-Białasik, Paulina Mościcka, Maria T. Szewczyk

Zakład Pielęgniarstwa Chirurgicznego i Leczenia Ran Przewlekłych, Katedra Pielęgniarstwa Zabiegowego, Collegium Medicum w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Pielęgniarstwo Chirurgiczne i Angiologiczne 2019; 1: 1–11

Praca wpłynęła: 29.11.2018; przyjęto do druku: 15.12.2018

Adres do korespondencji:

Justyna Cwajda-Białasik, Zakład Pielęgniarstwa Chirurgicznego i Leczenia Ran Przewlekłych, Katedra Pielęgniarstwa Zabiegowego, Collegium Medicum w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Łukasiewicza 1, 85-821 Bydgoszcz, e-mail: jcwajda@wp.pl

Streszczenie

Postępowanie miejscowe w przypadku ran przewlekłych powinno przebiegać zgodnie z wytycznymi ekspertów i opierać się na dowodach naukowych. Obecnie rekomenduje się stosowanie strategii TIME w celu optymalizacji procesu gojenia. Dostępnych jest coraz więcej możliwości i metod terapii wspomagających proces gojenia. Celem niniejszej pracy był przegląd wybranych sposobów leczenia ran. Omówiono m.in. biochirurgię z użyciem larw czerwi, terapię podciśnieniem, oczyszczanie ultradźwiękowe, terapię hiperbaryczną, ozonoterapię i elektrostymulację wysokonapięciową.

Słowa kluczowe: leczenie ran przewlekłych, strategia TIME, terapia podciśnieniowa, sonoterapia.

Summary

When it comes to chronic wounds, local treatment should proceed pursuant to experts' guidelines and be based on scientific research. Currently, the recommendation is to proceed with a local treatment in accordance with the TIME strategy, making use of all possibilities, with the aim of optimising the healing process. New methods of healing have appeared on the market. The aim of this text is to review selected methods of wound healing. Among others discussed were: *Lucilia sericata* biosurgery, negative pressure wound therapy, ultrasonic-assisted wound debridement, hyperbaric oxygen therapy, ozone therapy, and high-voltage stimulation.

Key words: wound healing, strategy TIME, negative pressure wound therapy, ultrasonic-assisted wound debridement.

Wstęp

Postępowanie miejscowe w przypadku ran przewlekłych powinno przebiegać zgodnie z wytycznymi ekspertów i opierać się na dowodach naukowych oraz danych pochodzących z wielośrodkowych, randomizowanych badań i przeglądów. Polskie i Europejskie Towarzystwo Leczenia Ran (*European Wound Management Association* – EWMA) od lat rekomenduje stosowanie nowoczesnych strategii, w tym TIME, odwołujących się do specyficznej patofizjologii ran przewlekłych [1–7]. Podejście TIME polega na celowych i przemyślanych interwencjach, skupiających się na aktualnych potrzebach i warunkach mikrośrodowiska rany. Jego głównym założeniem jest optymalizacja zaburzonych warunków biochemicznych, fizycznych i mikrobiologicznych poprzez usuwanie barier i leczenie zaburzeń przyczyniających się do braku postępów gojenia. Interwencje zewnętrzne podejmowane w trakcie terapii

mają stymulować lub zastąpić naturalne mechanizmy gojenia rany w okresie ich niewydolności (wynikającej z przewlekłego charakteru) i ułatwiać proces zamykania rany.

W praktyce strategia TIME obejmuje [1, 7]:

- T – opracowanie tkanek (*tissue debridement*),
- I – kontrolę infekcji i zapalenia (*infection and inflammation control*),
- M – zapewnienie równowagi wilgoci (*moisture balance*),
- E – uzdrowienie brzegów rany, pobudzenie naskórkowania (*edge, epidermization stimulation*).

Podejście TIME jest zgodne z innymi rekomendowanymi schematami postępowania, m.in. WAR (*wounds at risk*) czy BBWC (*biofilm based wound care*), które pojawiły się w odpowiedzi na zagrożenia mikrobiologiczne związane z raną przewlekłą [1, 5, 6]. Wymienione strategie systematyzują sposoby oceny stanu rany i pomagają w doborze optymalnych metod postępowania. Uściślają one również ważne definicje i terminy, których

rozumienie jest kluczowe w podejmowaniu właściwych decyzji i efektywnym postępowaniu z raną.

Strategia WAR kładzie nacisk na uzasadnione stosowanie preparatów przeciwdrobnoustrojowych, takich jak lawaseptyki, antyseptyki i opatrunki. Ułatwia ocenę ryzyka wystąpienia infekcji i podjęcie decyzji o wdrożeniu miejscowej terapii przeciwdrobnoustrojowej. Jest to narzędzie oceny parametrycznej, w którym punkty przyznawane są za konkretne czynniki ryzyka. Jak pokazano w tabeli 1, ich suma określa poziom zagrożenia infekcją [5]. Z kolei strategia BBWC zwraca uwagę na występowanie bakterii w formie biofilmowej. Wykazano, że występują one we wszystkich typach ran przewlekłych: owrzodzeniach goleni, odleżynach, oparzeniach i owrzodzeniach stopy cukrzycowej [8]. Biofilm jest zorganizowaną strukturą drobnoustrojów przylegających do podłoża i otoczonych warstwą zewnątrzkomórkowego śluzu, który chroni je przed niesprzyjającymi warunkami środowiska, w tym: niekorzystnym pH, temperaturą, promieniowaniem, środkami przeciwdrobnoustrojowymi (także antybiotykami) oraz układem immunologicznym gospodarza. Biofilm jest nawet 1000 razy bardziej odporny na działanie antybiotyków niż bakterie w formie planktonicznej [5]. W celu przywrócenia równowagi mikrobiologicznej i biochemicznej w ranie przewlekłej opracowano algorytm postępowania uwzględniający ww. strategię. Obejmuje on kolejno: częste i agresywne opracowanie rany (tzw. *debridement*) odślaniające żywe, krwawiące tkanki, lawaseptykę i hydroterapię w celu fizycznego wypłukania zanieczyszczeń z rany, uzasadnioną antyseptykę w celu zabicia drobnoustrojów oraz optymalny opatrunek kompatybilny z zastosowanym antyseptykiem (np. oczyszczający, sekwestrujący lub – jeśli rana tego wymaga – przeciwdrobnoustrojowy) [5, 6].

Ze względu na trudność, jaką sprawia leczenie ran przewlekłych, na rynku pojawia się coraz więcej możliwości i metod terapii wspomagających proces gojenia. Poniżej dokonano przeglądu wybranych sposobów leczenia ran. Należy je wdrażać po lub równoległe do terapii przyczynowej, która gwarantuje pełne i trwałe wyleczenie. Żadna z wymienionych metod nie może być stosowana w monoterapii, a jedynie jako uzupełnienie terapii podstawowej.

Terapia podciśnieniowa

Terapia podciśnieniowa (*negative pressure wound therapy* – NPWT) wykorzystuje kontrolowane podciśnienie (tj. ciśnienie o wartości niższej niż ciśnienie atmosferyczne) wytwarzane na powierzchni rany w celu poprawy gojenia. Dno rany wypełnia się porowatym materiałem (opatrunkiem w postaci gąbki czy pianki) zabezpieczającym tkanki przed bezpośrednim działaniem siły ssącej i hermetycznie pokrywa szczelną, sa-

moprzylepną folią poliuretanową (stąd często używane w odniesieniu do terapii określenie *vacuum sealing*). Dzięki przemieszczaniu cząsteczek gazu przy użyciu siły ssącej, generowanej z centralnego szpitalnego systemu próżniowego lub przez urządzenie zewnętrzne, zostaje wytworzone podciśnienie. Źródło ssania jest połączone za pomocą portu z drenem wyprowadzonym z opatrunku. W ten sposób powstaje półokluzyjne środowisko sprzyjające gojeniu rany [9, 10].

Opis metody

Przed zastosowaniem NPWT i założeniem opatrunku podciśnieniowego zaleca się oczyszczenie rany z martwicy, strupa i powierzchniowych zanieczyszczeń. Optymalną metodą jest opracowanie chirurgiczne. Na oczyszczoną ranę nakłada się gąbkę (poliuretanową lub poliwinylową) lub opatrunek z pianki dopasowany do wielkości rany, tak aby w całości wypełniał jej łóżysko. Należy dokładnie dociąć zewnętrzne krawędzie gąbki, aby nie zachodziła na skórę. Zbyt duży rozmiar gąbki może powodować macerację zdrowej skóry i ryzyko powstania obszarów wilgotnej martwicy. Rolą gąbki jest równomierne rozprowadzenie ujemnego ciśnienia i uniemożliwienie przyssania drenu do powierzchni rany. Całość okleja się przezroczystą, półprzepuszczalną folią izolującą ranę od środowiska zewnętrznego. Tym samym stwarza się warunki do powstania próżni i wytworzenia podciśnienia. Folia powinna obejmować margines ok. 3–5 cm zdrowej skóry wokół rany. Dren (lub w przypadku płukania rany – dreny) wyprowadzony z opatrunku za pomocą specjalnego portu łączy się z urządzeniem ssącym (lub ssąco-płuczącym) i pojemnikiem zbierającym płyny usuwane z rany w trakcie terapii. Ciśnienie terapeutyczne dostosowuje się indywidualnie, uwzględniając m.in. typ użytego wypełnienia, intensywność produkowanego wysięku, charakterystykę rany. W większości ran rekomenduje się ciśnienie w granicach 80–125 mm Hg.

Według wielu autorów optymalne ciśnienie powinno przyjmować średnią wartość ok. 120 mm Hg. W badaniach na modelach zwierzęcych i ludzkich stosowano podciśnienie w zakresie 25–400 mm Hg, a nawet do 500 mm Hg, ale najlepsze efekty (poprawę mikrokrążenia i aż kilkukrotny wzrost perfuzji) uzyskiwano przy ciśnieniu rzędu 125 mm Hg [9–12]. Szczególnie wrażliwe i tym samym wymagające niższych wartości podciśnienia są rany eksponujące naczynia żyłne lub tętnicze podatne na krwawienie podczas manipulacji oraz niosące ryzyko powstania przetoki. Zwykle zaczyna się od wartości ok. 40–60 mm Hg i – w zależności od tolerancji – stopniowo zwiększa siłę ssania. Należy uwzględnić również indywidualny próg bólu pacjenta. Zbyt wysokie ciśnienie na początku terapii może nasilać dolegliwości i zniechęcać chorych do współpracy, a nawet stać się przyczyną zaprzestania terapii.

Tabela 1. Skala WAR (*wounds at risk* – rany zagrożone infekcją) [30]

Stopień ryzyka	Przykłady	WAR
I	<ul style="list-style-type: none"> • nabyte choroby immunosupresyjne (np. cukrzyca) • upośledzenia immunologiczne nabyte na skutek terapii (np. cyklosporynami, metotreksatem, glikokortykoidami lub przeciwciałami) • nowotwór lity • uogólnione zaburzenia hematologiczne • zaburzenia w gojeniu rany pooperacyjnej skutkujące (nieplanowanym) gojeniem wtórnym • rany potencjalnie ciężko skontaminowane (odbytu, genitaliów) • problemy higieniczne związane ze środowiskiem zawodowo-bytowym • wiek powyżej 80 lat • wczesny wiek pacjenta (wcześniaki, niemowlęta, małe dzieci) • rana niegojąca się dłużej niż rok • rozmiar rany przekraczający 10 cm² • rany przewlekłe (niezależnie od etiologii) o głębokości > 1,5 cm • przedłużenie hospitalizacji > 3 tygodni 	każdy z wymienionych czynników ryzyka to 1 punkt ryzyka (punkty mogą być sumowane, jeśli czynników jest więcej niż jeden)
II	<ul style="list-style-type: none"> • ciężkie nabyte upośledzenie odporności (np. infekcja wirusem hiv) • ciężko skontaminowane rany ostre • ukąszenia, rany klute, postrzelenia o głębokości 1,5–3,5 cm 	każdy z wymienionych czynników ryzyka to 2 punkty ryzyka (punkty mogą być sumowane, jeśli czynników jest więcej niż jeden)
III	<ul style="list-style-type: none"> • oparzenia obejmujące > 15% powierzchni ciała • rany pozostające w bezpośrednim kontakcie z organami lub strukturami funkcyjnymi organizmu (np. stawami) oraz rany zawierające ciało obce • ciężkie wrodzone upośledzenia odporności (np. agammaglobulinemia), • ukąszenia, rany klute oraz postrzałowe głębsze niż 3,5 cm 	każdy z wymienionych czynników ryzyka to 3 punkty ryzyka (punkty mogą być sumowane, jeśli czynników jest więcej niż jeden)

Jeśli suma czynników ryzyka wynosi lub przekracza 3, rana jest uznawana za zagrożoną infekcją i należy podjąć stosowne działania terapeutyczne [30].

Opatrunki zmienia się średnio co 2–3 dni, ale nie rzadziej niż 2 razy w tygodniu, zależnie od stanu rany. Rany wykazujące cechy zakażenia mogą wymagać częstszej zmiany i kontroli, w niektórych przypadkach nawet jednodniowej przerwy pomiędzy cyklami NPWT. W nielicznych przypadkach stwierdzono miejscowe odczyny alergiczne objawiające się świądem lub wypryskiem kontaktowym, wymagające przerwania terapii. Zbiornik z wydzieliną należy obserwować codziennie, oceniając zarówno objętość, jak i charakter płynu [10–13].

Odmiany terapii ujemnym ciśnieniem

Poza klasycznym NPWT istnieją również dodatkowe możliwości leczenia podciśnieniem [9, 11], m.in.:

- terapia podciśnieniowa z wkraplaniem (*NPWT with instillation* – NPWTi) umożliwiającą wykonanie drenażu płuczącego lub zakraplania rany płynem, np. roztworem środka antyseptycznego lub soli fizjologicznej; dozowanie płynu odbywa się cyklicznie, a wszystkie parametry (objętość płynu, częstotliwość podaży, wartość podciśnienia) sterowane są komputerowo,
- metoda terapii podciśnieniem przeznaczona do zaopatrzenia cięć chirurgicznych zamkniętych szwem (*closed incision negative pressure therapy* – ciNPT), stosowana w profilaktyce zakażenia miejsca operowanego,
- jednorazowe, przenośne minisystemy do podciśnieniowego leczenia ran w warunkach domowych i ambulatoryjnych, zwykle o mniejszej pojemności zbior-

nika niż klasyczne urządzenia, dlatego przeznaczone do ran o małym i średnim wydzielaniu; w przeciwieństwie do terapii stacjonarnej nie wymagają czasowego unieruchomienia chorych w łóżku, pozwalają im na pełną aktywność (zbiornik na wydzielinę chory może nosić np. w kieszeni lub przypięty dyskretnie pod ubraniem).

Wskazania

Główne wskazania do NPWT obejmują:

- większość trudno gojących się ran przewlekłych i owrzodzeniowych (m.in. owrzodzenia podudzi żyłne i tętniczo-żyłne, owrzodzenia w zespole stopy cukrzycowej, odleżyny, inne rany przewlekłe),
- powikłane rany pourazowe oraz pooperacyjne,
- rany powierzchniowe, w których opatrunek próżniowy pełni funkcję pomocniczą (np. miejsca pokryte przeszczepem skórnym).

Obecnie NPWT stosuje się coraz częściej, rozszerzając wskazania nawet na te stany kliniczne, które wcześniej stanowiły przeciwwskazanie [9, 14, 15]. Poza leczeniem ran przewlekłych NPWT często stosuje się po operacjach, np. w kardiochirurgii, gdy doszło do rozejścia brzegów rany po sternotomii, po złamaniach otwartych i w przypadku trudno gojących się ran w ortopedii, a także w chirurgii naczyniowej/urazowej po amputacji kończyny. Terapia podciśnieniowa może wspomagać gojenie rany po laparotomii, kiedy powłoki brzuszne

nie pozwalają na szybkie zamknięcie jamy brzusznej. Istnieje możliwość stosowania opatrunku podciśnieniowego w leczeniu metodą „otwartego brzucha” (*open abdomen*), nawet ze współistniejącą stomią i przetoką jelitową (co jeszcze niedawno było bezwzględny przeciwwskazaniem do NPWT). Zastosowanie NPWT znacząco zmniejsza ryzyko egzogennej kontaminacji i stwarza korzystne warunki do oczyszczania otwartych przestrzeni jamy brzusznej. Pojawiły się również pojedyncze doniesienia na temat zastosowania NPWT w leczeniu martwiczego zapalenia jelit (NEC) oraz wytrzewienia u noworodków. Terapia podciśnieniowa znajduje ponadto zastosowanie w leczeniu martwiczego zapalenia powięzi. W kilku badaniach wykazano korzystny wpływ podciśnienia na gojenie ran pokrytych przeszczepem (oparzenia, owrzodzenia), z powodzeniem stosowano je też w ranach po otwartych urazach ortopedycznych [14].

Przeciwwskazania

Przeciwwskazaniami do zastosowania NPWT są:

- nowotwór lub podejrzenie nowotworowego charakteru rany,
- zapalenie kości i szpiku kostnego (istnieje ryzyko translokacji bakterii z łożyska rany do tkanki kostnej i rozwoju posocznicy; zaleca się wykluczenie zapalenia kości, usunięcie nekrotycznych fragmentów i antybiotykoterapię),
- odstonięte naczynia krwionośne lub organy (przed zastosowaniem NPWT należy się upewnić, że wszystkie naczynia i organy są chronione przez powięź, tkankę lub inną barierę),
- przetoki lub nieznaną przyczyną powstania rany, przetoka niejelitowa, niezbadana przetoka organów lub jamy ciała,
- rozległa martwica lub strup, masywne zakażenie (zaleca się chirurgiczne opracowanie rany przed zastosowaniem NPWT, a w przypadku zakażenia wdrożenie antybiotykoterapii ogólnej),
- aktywne krwawienie z rany lub wysokie ryzyko krwawienia u chorych przyjmujących leki przeciwzakrzepowe (zaleca się optymalizację leczenia zaburzeń układu krzepnięcia),
- znaczne niedokrwienie tkanek rany.

Wyniki badań

Celem NPWT jest utrzymanie równowagi fizykochemicznej i wytworzenie optymalnego, wilgotnego środowiska stymulującego gojenie rany. Wykazano, że NPWT stosowana w leczeniu ran przewlekłych:

- sprzyjała redukcji nadmiernego wysięku i ograniczała negatywny wpływ m.in.: cytokin prozapalnych i proteinaz, w tym metaloproteinaz degradujących macierz pozakomórkową,
- powodowała wzrost poziomu czynników proangio-

gennych: VEGF, FGF, PDGF oraz TGF- β stymulujących angiogenezę i proces ziarninowania,

- sprzyjała efektywnemu mechanicznemu oczyszczeniu rany z nadmiaru wydzieliny i drobnych pozostałości tkanek; zmniejszała również kolonizację drobnoustrojów stanowiących czynnik zapalny i infekcyjny,
- przyczyniała się do zmniejszenia obrzęku śródmiąższowego i ucisku wywieranego na naczynia mikrokrążenia, poprawiała miejscową perfuzję i dopływ tlenu do tkanek rany,
- dzięki działaniu podciśnienia na gąbkę/piankę powodowała efekt „ściągnięcia” brzegów i zamykania się rany,
- stymulowała ziarninowanie w optymalnie wilgotnym środowisku (w kilku badaniach obserwowano wzrost ziarniny nawet nad tkanką bradytroficzną, taką jak ścięgna i kości).

W badaniach oceniających skuteczność NPWT wykazano większą liczbę wygojeń, krótszy całkowity czas terapii, mniejszą liczbę nawrotów owrzodzeń po zakończeniu terapii oraz znacząco niższy wskaźnik amputacji. Wpływ innych mechanizmów niż w przypadku klasycznej NPWT stosowanej na rany otwarte i owrzodzenia zanotowano w ciNPT. Podkreśla się, że zastosowanie ciNPT poprawia spójność krawędzi rany, sprzyja redukcji napięcia bocznego, a także zmniejsza krwawienie, ryzyko rozwoju krwiaka i nadmiaru wysięku. Jednocześnie stymuluje mikrokrążenie i nasycenie tlenem miejsca cięcia operacyjnego. Sam opatrunek zapewnia zewnętrzną ochronę rany przed zanieczyszczeniem i dlatego jest używany w profilaktyce zakażenia miejsca operowanego u chorych z grupy ryzyka [9, 12].

Biochirurgia, larwoterapia

Biochirurgia jest metodą terapeutyczną oczyszczania i stymulacji procesu gojenia ran, w której wykorzystuje się zjawisko trawienia zewnętrznego występującego u larw muchy plujki – *Lucilia (Phaenicia) sericata*. Postembrionalne stadia muchówki *Phaenicia sericata* są obligatoryjnymi pasożytami ptaków i ssaków, żerującymi na ich żywych tkankach w procesie zwanym muszycą. Pełny cykl życiowy muchówki trwa ok. 25 dni, dlatego rany, w których składa jaja, muszą ulec szybkiemu wygojeniu. Pasożytom umożliwia to sukces reprodukcyjny, a terapeutom stymulację procesu gojenia dzięki naturalnym mechanizmom i substancjom biologicznie czynnym wykorzystywanym przez larwy w czasie żerowania [16–18]. Należą do nich m.in.:

- enzymy trawienne – zidentyfikowano przynajmniej kilka klas enzymów, tj. proteolitycznych, glikolitycznych, lipolitycznych oraz endonukleaz obecnych w wydalinach i wydzielinach larw, które skutecznie degradują składniki macierzy pozakomórkowej (np. lamininę i fibronektynę) i oczyszczają ranę z martwi-

cy. Degradują też DNA martwych komórek gospodarza i DNA drobnoustrojów. Proces oczyszczania jest wysoce selektywny. Jeden z ważniejszych enzymów białkowych – proteaza serynowa – rozkłada białka wyłącznie w martwej tkance, natomiast w żywej blokowana jest przez inhibitory białkowe obecne we krwi;

- czynniki bakteriostatyczne – są aktywne wobec bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych, w tym lekoopornych, jak *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, i grzybów, również w formie biofilmu. Zapewniają ochronę przeciwbakteryjną i dekontaminację rany. Czynniki zidentyfikowane w badaniach były termostabilne i odporne na działanie proteaz; ponadto wykazano, że larwy wydają amoniak, który podnosi pH środowiska rany i stwarza niekorzystne warunki dla rozwoju bakterii chorobotwórczych;
- czynniki stymulujące gojenie (m.in. migrację fibroblastów, syntezę kolagenu i fibrynonektyny; ponadto cytokiny wytwarzane przez larwy prawdopodobnie stymulują proces ziarninowania);
- mechanizmy fizyczne związane z ruchem larw (obecność „rzęsek”) i pełzaniem po powierzchni rany, które dodatkowo pobudzają oczyszczanie i proliferację komórek.

Opis metody

Larwy wykorzystywane w praktyce klinicznej są dokładnie wyselekcjonowane i pochodzą z kontrolowanych hodowli laboratoryjnych. Przed wykluciem jaja poddaje się sterylizacji chemicznej. Larwy wielkości ok. 1–2 mm wykluwają się w ciągu 12 do 24 godz. i muszą być jak najszybciej przetransportowane i zaaplikowane na ranę. Zaleca się zużyć je w ciągu ok. 8 godz. lub przechowywać w lodówce w temperaturze 8°–10°C, aby spowolnić ich metabolizm. W takich warunkach larwy mogą być transportowane do czasu aplikacji na ranę (maks. do 48 godz. od wyklucia). W wilgotnym i ciepłym środowisku zaczynają żerować, trawić i usuwać martwą tkankę. W korzystnych warunkach szybko rosną i dojrzewają w ciągu 4 do 5 dni, osiągając nawet 10 mm długości. Następnie przepoczwarczają się w dorosłą postać muchy. Larwy w stanie wolnym usuwa się z rany przed rozpoczęciem procesu przepoczwarczenia, wypłukując je solą fizjologiczną, tj. zwykle po ok. 72 godz. od aplikacji. Inaktywuje się je alkoholem izopropylowym lub zamraża ciekłym azotem, a następnie utylizuje jak odpady skażone.

Efektywne opracowanie rany metodą biochirurgii wymaga zapewnienia larwom korzystnych warunków żerowania, m.in. utrzymania w ranie optymalnej wilgotności, temperatury i dopływu tlenu. Podkreśla się, że rana przed aplikacją powinna być wilgotna, należy ją przemyć solą fizjologiczną. Nie może być w całości pokryta suchym strupem lub czarną martwicą, ponieważ larwy żerują w wilgotnym środowisku. Z kolei nadmiar wilgotności, której objętość wzrasta w trakcie trawienia martwicy

przez enzymy larw, może je zabić. Konieczne jest stosowanie opatrunków chłonnych i ich wymiana w przypadku przesiąkania. Należy unikać stosowania opatrunków okluzyjnych, nieprzepuszczalnych dla tlenu, ponieważ larwy potrzebują go, aby przeżyć. Glikol propylenowy w opatrunkach hydrożelowych również może ograniczać wzrost i żywotność larw. Ich ucieczka zdarza się rzadko (częściej w przypadku ran powierzchniowych) i może być spowodowana niezachowaniem proporcji między liczbą żerujących larw a objętością martwicy. Rekomenduje się ok. 5–10 larw na 1 cm² rany, jednak zawsze należy brać pod uwagę ilość martwicy i zwiększyć liczbę larw w przypadku bardzo zanieczyszczonej rany. Czerwie konkurujące o pokarm szybciej i efektywniej usuną martwicę niż larwy syte, mające go w nadmiarze. Rana w trakcie larwoterapii wymaga ochrony przed maceracją. Brzegi można zabezpieczyć opatrunkiem hydrokoloidowym (z otworem wyciętym na ranę), pastą cynkową lub pastą uszczelniającą (np. stomijną) [17, 18].

W Polsce dostępne są dwie formy larwoterapii:

- metoda otwarta (wolne larwy pod opatrunkiem hydrokoloidowym, siateczką i plastrem lub pod jałową gazą i bawełnianym bandażem) – uważa się, że larwy aplikowane w tej formie są bardziej skuteczne i efektywnie docierają do wszystkich miejsc rany wymagających opracowania. Niektórzy autorzy podają, że larwy w takiej formie mogą powodować dyskomfort i – bardzo rzadko – łagodne dolegliwości bólowe;
- metoda zamknięta (larwy w saszetce, tzw. *biobag* – torebka z miękkiej siateczki z przepuszczalnej membrany zawierająca w środku sterylne larwy i gąbkę) – chroni przed ucieczką larw i jest łatwiej akceptowana przez chorych obawiających się pełzających robaków. Może być stosowana u osób bardzo wrażliwych na ból, ponieważ larwy nie pełzają bezpośrednio po powierzchni tkanek. W niektórych pracach podawano, że ta metoda może być mniej efektywna w oczyszczaniu trudno dostępnych miejsc i wymagać większej liczby aplikacji.

Wskazania

Biochirurgia jest wskazana jako metoda oczyszczania, dekontaminacji i wspierania procesu gojenia większości ran przewlekłych, pokrytych znaczną ilością martwicy, zakażonych i niepoddających się standardowym terapiom.

Przeciwwskazania

Przeciwwskazaniami do stosowania terapii są:

- rany suche, pokryte strupem i czarną martwicą (larwy żerują w środowisku wilgotnym, natomiast suche stwarza niekorzystne warunki do żerowania i uniemożliwia uzyskanie zadowalającego efektu),
- rany bardzo głębokie, drążące do jam ciała (z których trudno byłoby usunąć larwy po zakończonej terapii),

- aktywne krwawienie z rany, ciężkie zaburzenia układu krzepnięcia, koagulopatie,
- rany z zapaleniem szpiku kostnego,
- reakcje alergiczne na chitynę owadów, jaja, soję lub larwy much,
- opór psychiczny i brak akceptacji metody przez chorego.

Wyniki badań

Wollina i wsp. [19] wykazali, że larwoterapia może szybko zmniejszyć średni wynik postępu gojenia rany i znacząco poprawić dynamikę zmniejszania powierzchni z $13,5 \pm 1,8 \text{ cm}^2$ do $6,3 \pm 2,7 \text{ cm}^2$ ($p < 0,001$) już po pojedynczej aplikacji larw na 1 do 4 dni. Obserwowano również zmniejszenie wydzielania nieprzyjemnego zapachu i stanu zapalnego otaczającej skóry oraz wzrost ziarniny. Larwy skutecznie usuwały nekrotyczną tkankę i wysięk bez uszkodzania przyległych zdrowych tkanek. To działanie stymulowało ziarninowanie i zmniejszało fetor powodowany przez infekcję. W wielu badaniach wykazano, że zabieg opracowania rany z pomocą larw nie jest szkodliwy i nie powoduje poważnych powikłań. Odnotowano wyłącznie niewielki dyskomfort, umiarkowany ból i nieprzyjemny zapach, zwłaszcza przy pierwszej zmianie opatrunku (okres największej aktywności larw wynosi ok. 24 godz.). Brak ochrony skóry wokół rany wiązał się z ryzykiem maceracji, stanu zapalnego i dyskomfortu.

Wykazano, że larwy *Lucilia sericata* produkują i wydzielają do łożyska rany liczne łańcuchy peptydowe (*antimicrobial peptides* – AMP) zwalczające większość bakterii chorobotwórczych Gram-dodatnich i Gram-ujemnych oraz grzybów. Synteza odpowiednich substancji jest spowodowana obecnością drobnoustrojów w ranie. Pozostałe zostają wchłonięte wraz z wydzieliną do przewodu pokarmowego larwy i tam zainaktywowane. W ten sposób larwoterapia jest skuteczna w leczeniu zakażeń bakteryjnych nawet w przypadku gatunków lekoopornych. Rekomenduje się jednak wyłącznie kontrolowaną terapię sterylnymi czerwiami. W jednym z badań zgłoszono występowanie infekcji krwi przypisywanych zakażonym larwom muchy niebieskiej (*Protophormia terraenovae*). Przypadkowe złożenie larw przez owady z otoczenia chorego, mające dostęp do odsoniętej rany, jest dość kontrowersyjne. Zapewnienie pacjentowi bezpiecznej terapii wymaga stosowania larw hodowanych w warunkach laboratoryjnych [17, 19].

Sonoterapia, oczyszczanie ultradźwiękowe

Sonoterapia jest wybiórczą, ale jednocześnie bardzo skuteczną metodą oczyszczania ran ostrych i przewlekłych (*ultrasonic-assisted wound debridement* – UAW). Ultradźwięki o niskiej częstotliwości wywołują

w tkankach efekty nietermiczne – kawitację i strumień akustyczny. Zjawisko kawitacji polega na tworzeniu niewielkich pęcherzyków gazu w płynie tkankowym oraz ich pulsowaniu (rozszerzanie i kurczenie się z towarzyszącą różnicą ciśnień). Występująca amplituda fal sprawia, że pęcherzyki pękają i powodują powstawanie niewielkich fal uderzeniowych, skutkujących m.in. degranulacją komórek tłuszczowych. Tkanka nekrotyczna ma mniejszą wytrzymałość na rozciąganie niż tkanka żywa, dlatego ulega upłynnieniu i łatwiej ją usunąć z łożyska rany. Sonoterapia narusza również strukturę biofilmu bakteryjnego na powierzchni rany. Zdrowa tkanka pozostaje nienaruszona, ponieważ ma wyższą zawartość elastyny i dzięki temu większą wytrzymałość na fizyczne efekty kawitacji. Strumień akustyczny z kolei inicjuje jednokierunkowy ruch płynu w polu ultradźwiękowym. Stymuluje aktywność i migrację komórek żernych, wspomagając naturalne mechanizmy oczyszczania rany i proliferacji.

Opis metody

Zaleca się, aby osoba wykonująca zabieg miała na sobie pełną i wodoodporną odzież ochronną (fartuch, rękawice, czepek, maskę twarzową i gogle). Należy odsonić okolicę rany, a ciało i twarz chorego zabezpieczyć przed bezpośrednim kontaktem i wdychaniem „mgiełki” powstającej podczas zabiegu. Rozproszony w powietrzu płyn irygacyjny może zawierać drobnoustroje z rany, dlatego chory powinien założyć maseczkę twarzową. Zabieg wykonuje się w zamkniętym pomieszczeniu (najlepiej w gabinecie zabiegowym), które po zakończeniu oczyszczania należy niezwłocznie umyć i poddać dezynfekcji. Przed zabiegiem trzeba przygotować urządzenie, wybrać optymalną końcówkę sonotrody i roztwór irygacyjny. Dostępne są różne rodzaje końcówek przeznaczone do oczyszczania różnych typów ran, m.in. końcówka z podwójną kulką do oczyszczania ran głębokich, jamistych i z kieszeniami (np. odleżyn), końcówka w kształcie kopytka do ran powierzchownych (np. owrzodzeń żylnych) oraz „łopatka” do trudno dostępnych miejsc (np. między palcami). Do irygacji najczęściej używa się soli fizjologicznej, ale w szczególnych przypadkach można również zastosować roztwór z antyseptykiem, środkiem znieczulającym lub innym lekiem.

Zabieg zwykle zaczyna się od niższych ustawień amplitudy i stopniowo zwiększa jej wartość, adekwatnie do tolerancji chorego. Zgodnie z instrukcją sonotrody należy przez cały czas utrzymywać w ruchu (przesuwając ją pulsacyjnie w przód i w tył). Aby osiągnąć najlepszy efekt, każdy centymetr kwadratowy powierzchni rany powinien być oczyszczany min. 20 sekund. Czas trwania zabiegu zależy od powierzchni całkowitej rany. Mimo że zabieg może wydawać się czasochłonny, czas przygotowania, wykonania procedury, a następnie

czyszczenia i przygotowania instrumentów do sterylizacji zajmuje ok. godziny. Do uzyskania zadowalającego efektu konieczna jest seria kilku–kilkunastu zabiegów. Jeśli istnieją przeciwwskazania do agresywnego opracowania chirurgicznego, UAW jest idealne do oczyszczenia delikatnych tkanek, pozwala też uzyskać czyste, żywe łożysko rany. Ponadto ułatwia jej dekontaminację i pobudza ziarninowanie. Po zabiegu ranę należy zabezpieczyć dowolnym opatrunkiem specjalistycznym, najlepiej oczyszczającym lub chłonnym, a w przypadku zakażenia – antybakteryjnym.

Wskazania

Wskazaniem do UAW są rany przewlekłe i trudno gojące się, zwłaszcza zanieczyszczone oraz o wysuszonej powierzchni, wymagające nawodnienia. Sonoterapię można stosować również do oczyszczania powikłanych ran pooperacyjnych, ran powierzchownie zakażonych, w przebiegu niedokrwienia, w oparzeniach i ranach pourazowych. Oczyszczanie ultradźwiękowe rekomenduje się jako przygotowanie miejsc do położenia przeszczepu, przed aplikacją opatrunków biologicznych i czynników wzrostu.

Przeciwwskazania

Przeciwwskazaniami do zabiegu są:

- nielezione zapalenie tkanki łącznej, zakażenia głębokie oraz ogólnoustrojowe,
- rany w przebiegu niedokrwienia obciążone ryzykiem sepsy, zgorzel,
- rany z elementami metalowymi, jak endoprotezy, płytki i wkrety lub wszczepione urządzenia elektroniczne w obszarze leczenia,
- rany odkrywające duże naczynia krwionośne i nerwy,
- rany nowotworowe.

Wyniki badań

Badania wykazały, że system ultradźwiękowy jest bezpieczny i łatwy w obsłudze [20]. W randomizowanym badaniu kontrolowanym placebo stwierdzono, że sonoterapia jest skuteczna w oczyszczaniu i stymulowaniu gojenia przewlekłych owrzodzeń żylnych. Poza niewielkim krwawieniem w okolicy brzegów rany nie obserwowano innych powikłań. W badaniach próbujących wyjaśnić mechanizmy działania sonoterapii wykazano, że daje ona pozytywne efekty zarówno w fazie zapalnej, jak i podczas proliferacji. W fazie zapalnej nietermiczne efekty ultradźwięków powodują degranulację komórek tłuszcznych. Histamina i inne mediatory chemiczne są uwalniane z komórki tłuszcznej i odgrywają rolę w przyciąganiu neutrofilów i monocytów w miejsce uszkodzenia. Zwiększa to efektywność i skraca czas trwania ostrej fazy zapalnej. W fazie proliferacyjnej

obserwowano migrację komórek, w tym fibroblastów syntetyzujących kolagen. Ultradźwięki o wyższych częstotliwościach wywoływały również miejscowe efekty cieplne, wpływające na większą rozciągliwość kolagenu (i zwiększoną wytrzymałość), poszerzenie naczyń i wzrost perfuzji oraz zmniejszenie dolegliwości bólowych [20, 21].

Hydrochirurgiczne opracowanie ran (system VERSAJET)

Hydrochirurgiczne oczyszczanie ran jest metodą łączącą agresywne, a zarazem wysoce selektywne opracowanie rany z płukaniem pulsacyjnym. Wykorzystuje się w niej niewielki strumień płynu pod wysokim ciśnieniem i o ogromnej prędkości (tzw. nóż wodny), który tnąc, wycina i usuwa tkanki. Jest to możliwe dzięki próżni wytwarzanej jednocześnie w głowicy końcówki, która zasysa i usuwa wycięte tkanki oraz zanieczyszczenia.

Opis metody

Metoda jest przeznaczona do stosowania w warunkach sali operacyjnej lub w gabinecie zabiegowym (wybrane modele). System pozwala na dobór optymalnej techniki i dostosowanie końcówki aparatu do rodzaju zabiegu.

Wskazania

Nóż wodny jest przeznaczony do precyzyjnego oczyszczania ran (ostrych, przewlekłych, oparzeniowych), opracowania martwicy i delikatnych tkanek miękkich, a także pola operacyjnego w sytuacjach wymagających głębokiego oczyszczenia i płukania pulsacyjnego. Nadaje się do przygotowania łożyska rany do położenia przeszczepu. Podczas zabiegów chirurgicznych może być wykorzystywany do opracowywania rany, usuwania zanieczyszczeń i płynów z pola działania chirurga.

Przeciwwskazania

Metodę hydrochirurgii należy ostrożnie stosować u chorych z zaburzeniami układu krzepnięcia, hemofilią lub przyjmujących leki wpływające na parametry krzepnięcia. W przypadku suchej martwicy i rozległego strupa zaleca się najpierw ich usunięcie innymi technikami, a następnie całkowite i precyzyjne opracowanie za pomocą noża wodnego [22].

Wyniki badań

Wykazano, że hydrochirurgiczne oczyszczanie ran trwajączej niż inne metody, np. opracowanie ran za pomocą samych opatrunków. Średni czas zabiegu u cho-

rych z owrzodzeniem żylnym wynosił ok. 5 minut. Podkreślono, że zabieg wykonany przez doświadczonego chirurga:

- oszczędza żywe tkanki i zmniejsza liczbę zabiegów potrzebnych do opracowania rany,
- oczyszcza łożysko rany, co sprzyja przyjmowaniu się przeszczepów oraz procesowi gojenia,
- usuwa bakterie, zmniejsza ryzyko zakażenia,
- przyspiesza proces gojenia rany, skraca czas hospitalizacji, zmniejsza koszty całkowite terapii.

Terapie tlenem

Terapia tlenem hiperbarycznym

Terapia tlenem hiperbarycznym (*hyperbaric oxygen therapy* – HBOT) polega na zastosowaniu 100% O₂ o ciśnieniu wyższym niż otaczające ciśnienie atmosferyczne (min. 1,4 atmosfery). Najczęściej wykorzystuje się wartości ciśnienia rzędu 2–3 ata. Wykazano, że tlen w warunkach hiperbarycznych jest dostarczany do komórek organizmu nie tylko poprzez utlenowanie hemoglobiny, ale również w postaci rozpuszczonej w osoczu. W normalnych warunkach w jednym litrze surowicy krwi znajdują się 3 ml rozpuszczonego fizycznie tlenu. Oddychanie 100 procentowym tlenem w warunkach normobarii zwiększa tę ilość do 20 ml/l (wysycenie hemoglobiny tlenem 97%), a oddychanie 100 procentowym tlenem w warunkach hiperbarii prowadzi do wzrostu stężenia tlenu rozpuszczonego w surowicy do 50 ml/l [23–25]. Ponadto hiperoksygenacji towarzyszy tzw. efekt Robin Hooda. Polega on na dostosowaniu stopnia dyfuzji tlenu w tkankach do zapotrzebowania i wzroście przepływu krwi w tkankach niedotlenionych kosztem tkanek dobrze natlenionych. Zamknięte lub zwężone naczynia ulegają rozszerzeniu, natomiast rozszerzone – zwężają się. Ma to szczególne znaczenie w przypadku zaburzeń ukrwienia i w innych zaburzeniach wymagających tlenu do wyzdrowienia [25, 26].

Opis metody

W HBOT stacjonarnej stosuje się komory jedno- lub wielomiejskowe. W komorze jednomiejskowej chory oddycha tlenem pod ciśnieniem i nie zakłada maski twarzowej. Pozycja w trakcie zabiegu zależy od rodzaju komory – może być horyzontalna (w komorze cylindrycznej) lub siedząca (w komorze kulistej). Komory wielomiejskowe wymagają podaży tlenu przez maskę (wnętrze komory wypełnia powietrze pod zwiększonym ciśnieniem). W komorach wielomiejskowych istnieje możliwość przeprowadzenia zabiegu jednocześnie u kilku chorych [26].

Typowy zabieg składa się z trzech 20-minutowych cykli oddychania tlenem hiperbarycznym rozdzielonych 5-minutowymi przerwami, podczas których chory oddycha powietrzem. Zabieg obejmuje także dwa 10-minutowe okresy kompresji i dekompresji – odpowiednio na początku i na końcu zabiegu – podczas których pacjenci oddychają powietrzem. Łączny czas trwania jednej sesji wynosi ok. 90 minut (w tym czas oddychania tlenem hiperbarycznym: 60 minut/ekspozycję). Liczba zabiegów gwarantująca efekt terapeutyczny jest dobierana indywidualnie i zależy od zaawansowania zaburzeń. Może się wahać od 3–5 sprzężeń w łagodnych stanach chorobowych do nawet 60 sesji w przypadku rozległych uszkodzeń tkanek, np. po radioterapii [23, 26].

Wskazania

Zastosowanie tlenu hiperbarycznego jest powszechnie znane w zatruciach tlenkiem węgla, chorobie dekompensacyjnej i zatorze powietrznym. Od niedawna HBOT jest również szeroko stosowana w leczeniu powikłanych ran ostrych i przewlekłych o różnej etiologii, m.in.: w zespole stopy cukrzycowej, owrzodzeniach żylnych, tętnicznych i mieszanych, ranach odleżynowych, a także w zakażonych ranach pooperacyjnych i pourazowych. W 2013 r. *European Committee of Hyperbaric Medicine* opracowało listę wskazań do HBOT. W odniesieniu do ran obejmują one leczenie [23–28]:

- ran zakażonych florą beztlenową i mieszaną,
- zgorzeli gazowej wywołanej beztlenowymi laseczkami *Clostridium*,
- stanu po przeszczepie skórny lub płatowym (w przypadku ryzyka odrzucenia przeszczepu) oraz po reimplantacji,
- przebiegu ran urazowych (powikłanych),
- martwiczego, infekcyjnego zakażenia tkanek miękkich,
- zespołu ciasnoty przedziałów powięziowych,
- urazów termicznych (oparzeń, odmrożeń), chemicznych i elektrycznych,
- uszkodzeń skóry i narządów po radioterapii,
- opornego zapalenia kości oraz szpiku (HBOT wspomaga proces odbudowy kości po ciężkich urazach, stymuluje aktywność osteoklastów i osteoblastów).

Przeciwwskazania

Bezwzględny przeciwwskazaniem do HBOT są [26]:

- nieleczona odma opłucnowa,
- chemioterapia (doksorubicyna, bleomycyna, adramyocyna, cisplatyna, disulfiram).

Przeciwwskazania względne obejmują [23, 26]:

- zaburzenia układu oddechowego (ostra infekcja dróg oddechowych, rozedma płuc, przebyte zabiegi chirurgiczne płuc),
- przebyte operacje kości skroniowej,
- ciąża,
- klaustrofobia,

- podwyższona temperatura ciała,
- drgawki.

Wyniki badań

W badaniach wykazano, że hiperbaria tlenowa reguluje procesy gojenia ran za pomocą różnych mechanizmów [23–28], m.in. przy udziale osoczowej odpowiedzi antyoksydacyjnej, indukcji odpowiedzi naczyniowej oraz regulacji napięcia naczyniowego. W badaniu Suredy i wsp. po każdej sesji tlenem hiperbarycznym wzrastał poziom czynnika wzrostu śródbłonna naczyń (VEGF). Jest on ważnym czynnikiem angiogenezy powodującym wzrost komórek śródbłonna oraz modulatorem jego przepuszczalności. Jednocześnie zmniejszał się poziom endoteliny-1 – peptydu odpowiedzialnego za kurczenie naczyń krwionośnych. Zmniejszenie stężenia endoteliny-1 jest konieczne do zwiększenia przepływu naczyniowego i ułatwienia dostępu tlenu do uszkodzonych tkanek. W innym badaniu obserwowano ograniczenie stanu zapalnego, zmniejszenie obrzęku i wysięku z rany, a także mobilizację granulocytów obojętnochłonnych i aktywację neoangiogenezy. Zwiększona podaż tlenu stymulowała też fibroblasty i syntezę kolagenu. Wykazano synergistyczne działanie HBOT z antybiotykoterapią ogólnoustrojową. Hiperbaria działała destrukcyjnie na bakterie beztlenowe oraz na *Staphylococcus aureus* i *Pseudomonas aeruginosa*. Wykazano, że usprawnia ona mechanizm działania wielu leków przeciwbakteryjnych, takich jak: fluorochinolony, aminoglikozydy oraz amfoterycyna B. W badaniach oceniających zastosowanie HBOT w zespole stopy cukrzycowej odnotowano mniejszą liczbę interwencji chirurgicznych, znaczącą redukcję odsetka dużych amputacji kończyn dolnych (powyżej granicy stawu skokowego), a także skrócenie czasu gojenia owrzodzeń. W jednym z badań udowodniono, że HBOT zwiększa przeżycie chorych z miażdżycą tętnic kończyn dolnych i cukrzycą powikłaną zespołem stopy cukrzycowej i owrzodzeniem [23–29].

Ozonoterapia

Ozonoterapia (*ozone therapy* – OT) wykorzystuje ozon – trójatomową cząsteczkę tlenu (O_3), która w normalnych warunkach jest mało stabilna i szybko ulega rozpadowi na tlen dwuatomowy i tlen atomowy. Ozon do celów medycznych wytwarza się z czystego tlenu w wyniku wyładowań elektrycznych i stosuje w postaci mieszaniny tlenowo-ozonowej, w maksymalnym stężeniu 5% ozonu i 95% tlenu.

Opis metody

Dotychczas nie opracowano wytycznych regulujących stosowanie OT w praktyce klinicznej i leczeniu ran.

Dostępne są różne metody, m.in. [25]:

- bezpośrednia dożylna podaż ozonu,
- ozonoterapia NaCl – dożylny wlew naozonowanej soli fizjologicznej, ze względu na dużą niestabilność ozonu dokonywany bezpośrednio po przygotowaniu preparatu,
- autohemotransfuzja – jest zabiegiem inwazyjnym, wymagającym kaniulacji żył obwodowych w celu pobrania krwi, a następnie jej pozaustrojowego wzbogacenia w ozon i tlen oraz transfuzji; zabieg odbywa się w obiegu zamkniętym, z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury,
- miejscowa podaż ozonu, np. w postaci tzw. suchych kąpeli ozonowych (okrycie chorej kończyny szczelnym rękawem foliowym, do którego wprowadza się mieszaninę tlenowo-ozonową), irygacji ran świeżo naozonowanymi płynami infuzyjnymi oraz za pomocą opatrunków lub preparatów z naozonowanymi preparatami olejnymi lub maściami.

Wskazania

W Polsce OT została zastosowana po raz pierwszy w 1986 r. przez prof. Zygmunta Antoszewskiego w Klinice Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach-Ochojcu. Obecnie jest wykorzystywana coraz szerzej, zwłaszcza w terapii schorzeń niereagujących na standardowe leczenie. Stanowi jedną z możliwości leczenia wszystkich trudno gojących się ran i owrzodzeń, m.in. w przebiegu niedokrwienia, zespołu stopy cukrzycowej, pourazowego zapalenia kości i tkanek miękkich, infekcji beztlenowych, oparzeń czy egzemy.

Przeciwwskazania

Przeciwwskazaniami są:

- nadczynność tarczycy,
- niewyrównane nadciśnienie tętnicze,
- niedawno przeżyty zawał mięśnia sercowego,
- ciąża,
- zatrucie alkoholowe.

Wyniki badań

Ozon wykazuje silne właściwości bakteriobójcze, wirusobójcze oraz grzybobójcze. Wpływa na poprawę miejscowego ukrwienia tkanek, pobudza ziarninowanie i epitelizację oraz przyspiesza gojenie się ran. Zastosowanie OT w postaci iniekcji podskórnych u chorych po powikłanym zabiegu amputacji kończyny dolnej wpływało korzystnie na proces gojenia i miało działanie przeciwbólowe. Autorzy twierdzą, że uzyskany efekt jest wynikiem aktywacji ekspresji czynników antyoksydacyjnych, VEGF, PDGF oraz TGF- β . W badaniach na modelach zwierzęcych wykazano zmniejszenie infiltracji tkanek komórkami odczynu zapalnego oraz obniżenie ekspresji czynników prozapalnych. Obserwowano też pobudzenie angiogenezy, produkcji kolagenu i keratynizacji warstwy rogowej naskórka [25, 26, 29].

Elektrostymulacja wysokonapięciowa

Elektrostymulacja wysokonapięciowa (*high voltage stimulation* – HVS) jest – obok galwanizacji i jonoforezy – formą elektroterapii stosowaną m.in. w leczeniu trudno gojących się ran. Polega na użyciu prądu wysokonapięciowego w postaci podwójnych monofazowych bodźców o napięciu 80–100 V, 100–150 V lub 150–200 V, częstotliwości ok. 100 Hz i czasie trwania impulsu leczniczego ok. 100 μ s. Jest to prąd, który nie wywołuje efektów ruchowych, a jedynie odczucie lekkiego mrowienia [30–32].

Opis metody

W HVS wykorzystuje się płaskie elektrody z gumy węglowej lub płytki aluminiowe, które umieszcza się na powierzchni rany przykrytej gazą nasączoną roztworem soli fizjologicznej. W przypadku ułożenia jednobiegowego elektrodę czynną umieszcza się na ranie, a bierną w odległości ok. kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów. W ułożeniu dwubiegowym elektrody układa się na przeciwległych biegunach rany. W początkowym stadium leczenia rekomenduje się stymulację katodową, a po oczyszczeniu rany – anodową [30, 31]. Stymulacja katodowa sprzyja oczyszczaniu rany, zmniejsza odczyn zapalny i wykazuje działanie bakteriostatyczne. Rozpuszcza skrzepy, zwiększa napięcie ścian naczyń krwionośnych i poprawia mikrokrążenie. Sprzyja też proliferacji fibroblastów i zwiększeniu syntezy kolagenu. W fazie ziarninowania aż do wygojenia stosuje się stymulację anodową, która poprawia ukrwienie i wysycenie tkanek tlenem, pobudza ziarninowanie. Ważnym efektem tej fazy jest działanie przeciwbólowe i zwiększenie wytrzymałości tkanek na rozciąganie. Terapię kończy stymulacja naprzemienna katodowo-anodowa, stosowana w końcowym okresie naskórkowania i zamykania rany.

Schemat leczenia metodą HVS obejmuje:

- stymulację katodową: zabiegi po ok. 50 min. przez 1–3 tygodni (5–6 razy w tygodniu),
- stymulację anodową: zabiegi po ok. 50 min przez 4–6 tygodni (5–6 razy w tygodniu),
- stymulację naprzemienną: zabiegi po ok. 60 min. (w tym 20 min katoda, 40 min. anoda) z okresowym zwiększaniem natężenia prądu, do zabliznienia rany.

Wskazania

Główne wskazania obejmują:

- rany przewlekłe i trudno gojące, odleżyny,
- rany w fazie oczyszczania i ziarninowania.

Przeciwwskazania

Przeciwwskazaniami do zastosowania terapii są:

- stymulator serca,
- zaburzenia rytmu serca.

Wyniki badań

Mechanizm biologicznego oddziaływania prądów wysokonapięciowych na tkanki jest złożony i nie został do końca poznany. Wpływ elektroterapii na proces gojenia ran wyjaśnia się kilkoma mechanizmami. Teoria tzw. baterii skórnej odwołuje się do występującej naturalnie różnicy potencjałów pomiędzy naskórkiem a skórą (przy zachowanej ciągłości tkanek ładunek ma potencjał ujemny). W momencie uszkodzenia powierzchnia naskórka staje się elektrododatnia, a występująca różnica potencjałów powoduje powstanie tzw. prądu uszkodzenia (prądu endogenego) stymulującego gojenie. Wysuszenie skóry w ranach przewlekłych oraz środki stosowane miejscowo mogą zaburzać przepływ prądu i tym samym hamować gojenie. Stymulacja prądem monofazowym przywraca różnicę potencjałów i pobudza proces gojenia [33–35].

Zaobserwowano również występowanie zjawiska galwanotaksji komórkowej polegającej na przemieszczaniu się komórek dodatnio lub ujemnie naładowanych w obrębie pola elektrycznego. Ruch makrofagów odbywa się od katody, a neutrofilów do anody [30, 31]. Wykazano działanie bakteriostatyczne elektrostymulacji (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*), zwiększoną syntezę ATP i DNA komórkowego, a wskutek stymulacji fibroblastów – także wzrost syntezy kolagenu [35, 36]. Na podstawie przeglądu piśmiennictwa i badań stwierdzono, że elektrostymulacja wysokonapięciowa stosowana 2,25–7 godz. tygodniowo skutecznie pobudza i wspomaga gojenie ran przewlekłych, takich jak owrzodzenia żyłne, odleżyny II–IV stopnia czy rany w zespole stopy cukrzycowej [36].

Autorki deklarują brak konfliktu interesów.

Piśmiennictwo

1. Jawień A, Bartoszewicz M, Przondo-Mordarska A i wsp. Wytyczne postępowania miejscowego i ogólnego w ranach objętych procesem infekcji. *Leczenie Ran* 2012; 9: 59-75.
2. Jawień A, Szewczyk MT, Kaszuba A. Wytyczne Grupy Ekspertów w sprawie gojenia owrzodzeń żylnych goleni. *Leczenie Ran* 2011; 8: 59-80.
3. Szewczyk MT, Sopata M, Jawień A i wsp. Zalecenia profilaktyki i leczenia odleżyn. *Leczenie Ran* 2010; 7: 79-106.
4. Mrozkiewicz-Rakowska B, Jawień A, Sopata M. Organizacja opieki nad chorymi z zespołem stopy cukrzycowej. *Wytyczne Polskiego Towarzystwa Leczenia Ran*. *Leczenie Ran* 2015; 12: 83-112.
5. Bartoszewicz M, Junka A. Leczenie miejscowe rany przewlekłej objętej procesem infekcyjnym w świetle obowiązujących wytycznych. *Leczenie Ran* 2012; 9: 93-97.
6. Bartoszewicz M, Junka A. Biofilm Based Wound Care: strategia leczenia ran przewlekłych objętych procesem infekcyjnym wywołanym przez drobnoustroje w formie biofilmowej. *Leczenie Ran* 2012; 9: 1-6.
7. Harding KG, Morris HL, Patel KG. Healing chronic wounds. *BMJ* 2002; 324: 160-163.
8. Wolcott R, Dowd S, Kennedy J, Jones C. Biofilm-Based Wound Care. *Adv Wound Care* 2010; 1: 311-318.

9. Apelqvist J, Willy C, Fagerdahl AM i wsp. EWMA Document: Negative Pressure Wound Therapy – overview, challenges and perspectives. *J Wound Care* 2017; 26 (Suppl 3): S1-S113.
10. Mrozikiewicz-Rakowska B, Kania J, Bucior E i wsp. Rola czynników angiopoetycznych w procesie gojenia ran u pacjentów z cukrzycą typu 2 i ZSC o etiologii neuropatycznej przy zastosowaniu terapii podciśnieniowej. *Leczenie Ran* 2015; 12: 171-178.
11. Pleger S, Fuhrmann L, Elzien M i wsp. Closed Incision Negative Pressure Therapy for Prevention of Groin Wound Complications after Vascular Surgery. *Biomed J Sci & Tech Res* 2018; 5: BJSTR.MS.ID.001203.
12. Baniak I. Negative pressure wound therapy (NPWT) and its role in the treatment of infected wounds in orthopedic practice. *Leczenie Ran* 2014; 11: 21-30.
13. Mrozikiewicz-Rakowska B, Nowak A, Bucior E i wsp. Zastosowanie terapii podciśnieniowej w leczeniu zespołu stopy cukrzycowej. *Leczenie Ran* 2014; 11: 5-9.
14. Burkacka A, Smyczek D, Koszutski T. Nowoczesne zastosowanie terapii podciśnieniowej w leczeniu ran. XIII Konferencja Naukowa Majówka Młodych Biomechaników im. prof. Dagmary Tejszskiej.
15. Banasiewicz T, Zieliński M. Terapia podciśnieniowa ran. *Termedia, Poznań* 2015.
16. Orkiszewski M. Maggots of *Lucilia sericata* in treatment of intractable wounds. *Wiad Lek* 2007; 60: 381-385.
17. Gupta A. A review of the use of maggots in wound therapy. *Ann Plast Surg* 2008; 60: 224-227.
18. Choudhary V, Choudhary M, Pandey S i wsp. Maggot debridement therapy as primary tool to treat chronic wound of animals. *Vet World* 2016; 9: 403-409.
19. Wollina U, Karte K, Herold C, Looks A. Biosurgery in wound healing—the renaissance of maggot therapy. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2000; 14: 285-289.
20. Dissemond J, Fitz G, Goos M. Wound bed preparation of chronic wounds with ultrasound. *Hautarzt* 2003; 54: 524-529.
21. Butcher G, Pinnuck L. Wound bed preparation: ultrasonic-assisted debridement. *Br J Nurs* 2013; 22: S36, S38-43.
22. Mosti G, Labichella ML, Picerni P. The debridement of hard to heal leg ulcers by means of a new device based on Fluidjet technology. *Int Wound J* 2005; 2: 307-314.
23. Cybułka B. Zastosowanie hiperbarycznego tlenu w powikłanych, opornych na leczenie owrzodzeniach pięty. Opis przypadków. *Leczenie Ran* 2017; 14: 25-32.
24. Walewska E, Ścisło L, Puto G i wsp. Zastosowanie tlenu hiperbarycznego w leczeniu zespołu stopy cukrzycowej – doświadczenia własne. *Leczenie Ran* 2016; 13: 45-49.
25. Klimek M, Szaraniec W, Rojczyk E i wsp. Rola tlenu w procesie gojenia ran. *Leczenie Ran* 2017; 14: 103-108.
26. Paprocki J, Gackowska M, Pawłowska M, Woźniak A. Aktualne zastosowanie hiperbarii tlenowej. *Med Rodz* 2016; 19: 217-222.
27. Sahni T, Hukku S, Jain M i wsp. Recent advances in hyperbaric oxygen therapy. *Medicine update. Assoc Physicians India* 2004; 14: 632-639.
28. Indications for hyperbaric oxygen therapy. Definition of hyperbaric oxygen therapy. Undersea & Hyperbaric Medical Society (online). <https://www.uhms.org/resources/hbo-indications.html>
29. Wilkinson D, Doolette D. Hyperbaric oxygen treatment and survival from necrotizing soft tissue infection. *Arch Surg* 2004; 139: 1339-1345.
30. Materniak K, Nowak-Wróżyna A, Kawecki M, Nowak M. Elektrostymulacja wysokonapięciowa w leczeniu trudno gojących się ran i obrzęków. *Leczenie Ran* 2012; 9: 11-14.
31. Radzimińska A, Stettler D, Weber-Rajek M i wsp. Metody fizykalne w terapii odleżyn. *J Educ Health Sport* 2015; 5: 405-414.
32. Taradaj J, Kucharzewski M, Halski T i wsp. Wpływ ciśnienia i długości trwania pojedynczego zabiegu pneumatycznego drenażu limfatycznego na redukcję pierwotnego obrzęku chłonnego kończyn dolnych u chorych z przewlekłą niewydolnością żylną. *Leczenie Ran* 2013; 10: 7-11.
33. Taradaj J, Kostur R. Profilaktyka i leczenie fizykalne odleżyn. *Fizykoterapia. Rehabil Prakt* 2006; 2: 31-32.
34. Polak A, Walczak A, Taradaj J i wsp. Elektrostymulacja wysokonapięciowa we wspomaganiu leczenia odleżyn: wyniki randomizowanego, kontrolowanego eksperymentu klinicznego – wyniki wstępne. *Leczenie Ran* 2013; 10: 13-22.
35. Franek A, Kostur R, Polak A i wsp. Using high-voltage electrical stimulation in the treatment of recalcitrant pressure ulcers: results of a randomized, controlled clinical study. *Ostomy Wound Manage* 2012; 58: 30-44.
36. Polak A, Franek A, Taradaj J. High-Voltage Pulsed Current Electrical Stimulation in Wound Treatment. *Adv Wound Care* 2014; 3: 104-117.