

# Leczenie Ran

*Oficjalne pismo naukowe  
Polskiego Towarzystwa Leczenia Ran  
Polskiego Towarzystwa Leczenia Oparzeń  
Polskiego Towarzystwa Chirurgii Plastycznej,  
Rekonstrukcyjnej i Estetycznej*

POLSKIE TOWARZYSTWO  
LECZENIA RAN



POLSKIE  
TOWARZYSTWO  
LECZENIA  
OPARZEŃ



Blackhorse



## Zastosowanie zmiennych pól magnetycznych w leczeniu ran

### Application of variable magnetic fields in the treatment of wounds

Grzegorz Cieślak, Mariusz Nowak, Marek Kawecki, Marek Glinka, Aleksander Sieroń

G. Cieślak (✉), A. Sieroń, Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu, Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach, ul. Batorego 15, 41–902 Bytom, Tel.: 032 / 786 16 30,

Fax: 032 / 786 16 30, cieslar@mediclub.pl

M. Nowak, M. Kawecki, Centrum Leczenia Oparzeń, ul. Jana Pawła II 2, 41–100 Siemianowice Śląskie

M. Glinka, Oddział Chirurgii Ogólnej, Szpital Rejonowy, ul. Opolska 36a, 47–100 Strzelce Opolskie

Wpłynęło: 18.09.2005; Zaakceptowano: 25.10.2005

**Streszczenie** Leczenie przewlekłych ran stanowi poważny, interdyscyplinarny problem medyczny i społeczny. Aktualnie trwają poszukiwania nowych metod terapeutycznych wspomagających klasyczne sposoby leczenia przewlekłych ran. W pracy przedstawiono charakterystykę wolnozmiennych oraz tzw. słabych pól magnetycznych stosowanych w terapii przewlekłych ran oraz efekty biologiczne stojące u podstaw terapeutycznego wykorzystania tych pól w ramach odpowiednio magnetoterapii i magnetostymulacji. W oparciu o doświadczenia własne oraz dane bibliograficzne podsumowano wyniki badań eksperymentalnych na temat mechanizmów leczniczego oddziaływania zmiennych pól magnetycznych obejmujących m.in. działanie przeciwzapalne, przeciwbólowe i antykoagulacyjne, pobudzenie procesów utylizacji tlenu, angiogenezy, proliferacji komórkowej, regeneracji tkankowej, syntezy kolagenu i naskórkowania, hamowanie procesów infekcyjnych oraz zapobieganie rozwojowi ogólnoustrojowych i miejscowych powikłań cukrzycy. Przedstawiono również wyniki badań klinicznych potwierdzających korzystny efekt terapeutyczny magnetoterapii i magnestymulacji w przypadku zainfekowanych ran, oparzeń i owrzodzeń podudzi. W oparciu o powyższe obserwacje stwierdzono, że obie analizowane metody stanowią cenne, uzupełniające formy leczenia przewlekłych ran różnej etiologii ze względu na wysoką skuteczność leczniczą, brak działań ubocznych i powikłań oraz możliwość łącznego stosowania z klasyczną terapią, także w warunkach ambulatoryjnych.

**Słowa kluczowe** magnetostymulacja • magnetoterapia • przewlekłe rany • zmienne pole magnetyczne

**Abstract** Therapy of chronic wounds is an important, interdisciplinary medical and social problem. Actually new therapeutic methods assisting routine methods of treatment of chronic wounds are in request. In this paper the characteristics of extremely low frequency and „weak” variable magnetic fields used in the therapy of chronic wounds, as well as biological effects making a basis for therapeutic application of these fields as magnetotherapy and magneto-stimulation respectively, were presented. Basing on author's own experience and bibliography data, the results of experimental research on the mechanisms of therapeutic action of variable magnetic fields were summarized including: anti-inflammatory, analgesic and anticoagulant effect, intensification of oxygen utilization, angiogenesis, cellular proliferation, tissue regeneration, collagen synthesis and epidermization, inhibition of infections and prevention of whole-body and local complications of diabetes. The results of clinical trials confirming beneficial therapeutic effect of magnetotherapy and magneto-stimulation in the treatment of infectious wounds, burns and varicose ulcers were also presented. Basing on the above observations authors concluded that both analyzed methods make valuable, assisting forms of treatment of chronic wounds of different etiology because of a high therapeutic efficacy, lack of side effects and complications as well as possibility of simultaneous application with routine therapy also in ambulatory conditions.

**Key words** chronic wounds • magneto-stimulation • magnetotherapy • variable magnetic field

#### Wstęp

Przerwanie ciągłości skóry na skutek urazu mechanicznego, chemicznego lub termicznego, a także

uszkodzenie powierzchniowych warstw skóry w wyniku zmian troficznych prowadzi do powstawania ran. W celu zachowania homeostazy organizm wytworzył dwa wzajemnie się wykluczające mechanizmy gojenia

się ran, stanowiące obronę przed uszkadzającym działaniem czynników środowiska zewnętrznego [32]. Pierwszy z nich, występujący jedynie u płodów i noworodków ssaków, to regeneracja, polegająca na odrastaniu tkanki macierzystej. Kolejny mechanizm występujący u osobników dojrzałych to reparacja polegająca na zastępowaniu ubytku tkanką łączną [3,41]. U ludzi gojenie się ran polega na wytworzeniu blizny łącznotkankowej, wypełniającej ubytek skóry pokrytej następnie naskórkiem.

Prawidłowy przebieg procesu gojenia bywa często zaburzony na różnych etapach, prowadząc do powstawania tzw. przewlekłych ran. Z kolei skutkiem zaawansowanych zaburzeń troficznych skóry oraz wtórnych infekcji może być powstawanie przewlekłych owrzodzeń. Rozwiązanie obu tych problemów stanowi jedno z podstawowych zadań współczesnej chirurgii.

Zwiększone narażenie na powstawanie ran przewlekłych występuje szczególnie w następujących grupach chorych [2, 3, 19, 38]:

1. Pacjenci ze schorzeniami ośrodkowego układu nerwowego o charakterze samoistnym (np. stwardnienie rozsiane) lub pourazowym. U chorych z tej grupy na skutek unieruchomienia, zaniku czucia oraz długotrwałego ucisku powodującego zaburzenia krążenia lokalnego w miejscach podatnych (krętarze, pięty i okolica krzyżowo-guziczna) rozwijają się odleżyny. Towarzyszące często odleżynom wtórne infekcje prowadzą u tych chorych do powstawania owrzodzeń odleżynowych.
2. Pacjenci z zaburzeniami krążenia obwodowego w przebiegu schorzeń naczyń tętniczych (np. miażdżycy) oraz żylnych (np. zespół pozakrzepowy w przebiegu żylaków). U chorych z tej grupy przewlekłe rany mają najczęściej charakter owrzodzeń podudzi.
3. Pacjenci w podeszłym wieku, u których przyczyną rozwoju przewlekłych ran są schorzenia metaboliczne związane z tym okresem życia, jak cukrzyca, miażdżycy i niewydolność nerek. Szczególnie współistnienie zmian miażdżycowych oraz makro- i mikroangiopatii cukrzycowej prowadzi często do powstania niedokrwienia kończyn dolnych z wtórnymi powikłaniami infekcyjnymi prowadzącymi do martwicy tkanek i powstania owrzodzeń.
4. Pacjenci z ranami pierwotnie zaopatrzonymi chirurgicznie, u których na skutek wadliwego zaopatrzenia lub niemożności właściwego zaopatrzenia rany na skutek trudnych lokalnych warunków anatomicznych (np. szcienie rany pod napięciem, szczególnie w przypadku przedłużającego się zabiegu operacyjnego sprzyjającego niedokrwieniu okolicy rany) dochodzi do zaburzeń gojenia rany.
5. Pacjenci z ranami oparzeniowymi, u których na przebieg gojenia wpływają nie tylko ostre zaburzenia miejscowe w okolicy rany, ale również zjawiska związane z ogólnoustrojową odpowiedzią na stres termiczny.

Częstą przyczyną zaburzeń gojenia ran są także: niedożywienie, awitaminozy, zaburzenia genetyczne oraz stosowanie leków steroidowych i cytostatyków [2, 32, 38, 41].

Przewlekłe rany i owrzodzenia stanowią istotny problem medyczny, ale także socjalny i ekonomiczny, zarówno dla pacjentów, jak i ich rodzin. Dlatego też konieczne stało się poszukiwanie nowych metod terapeutycznych wspomagających klasyczne sposoby leczenia przewlekłych ran. W ostatnich latach w wielu badaniach eksperymentalnych i klinicznych wykazano korzystny efekt stosowania zmiennych pól magnetycznych w przypadku zaburzeń gojenia się ran, zwłaszcza powikłanych wtórnymi infekcjami i zmianami martwiczymi powodującymi powstawanie owrzodzeń. Obecnie w leczeniu przewlekłych ran i owrzodzeń skóry stosowane są dwie metody terapeutyczne wykorzystujące zmienne pola magnetyczne o różnych parametrach fizycznych: magnetoterapia i magnetostymulacja.

### Charakterystyka zmiennych pól magnetycznych stosowanych w leczeniu przewlekłych ran

Pola magnetyczne stosowane w magnetoterapii mają częstotliwość mniejszą od 100 Hz i indukcję magnetyczną rzędu 0,1—20 mT, przekraczającą o 2—3 rzędy wielkości wartości indukcji magnetycznej pola ziemskiego wynoszące 30—70  $\mu$ T. Natężenie pola elektrycznego tych pól jest porównywalne z natężeniem pola ziemskiego i wynosi około 130 V/m. Przebiegi pól magnetycznych najczęściej stosowanych w magnetoterapii mają kształt sinusoidy, trójkąta i prostokąta. W użyciu są również przebiegi połówkowe, nazywane odpowiednio półsinusoidalnymi, półtrójkątnymi i półprostokątnymi [35].

Z kolei zmienne pola magnetyczne stosowane w magnetostymulacji mają niskie wartości indukcji magnetycznej w zakresie od 1 pT do 100  $\mu$ T i złożony przebieg, w którym częstotliwość przebiegu podstawowego mieszcząca się w przedziale od kilku do 3000 Hz, jest odpowiednio modulowana. Obwiednie zmodulowanych przebiegów mają częstotliwości nie przekraczające kilkunastu Hz, odpowiadające częstotliwościom rezonansowym kanałów błonowych dla wybranych jonów, co stanowi podstawę zjawiska jonowego rezonansu jądrowego [35].

Urządzenia do leczenia polem magnetycznym spotykane na naszym rynku składają się z generatora pola magnetycznego posiadającego możliwość regulowania jego parametrów oraz aplikatora, w którym bezpośrednio wytwarzane jest pole magnetyczne. Aplikatory mają zwykle kształt cylindrycznej lub eliptycznej cewki o średnicy około 500—600 mm i szerokości około 200 mm lub płaskiej maty. Taka budowa aplikatora pozwala na swobodne umieszczenie w jego wnętrzu lub na jego powierzchni kończyn lub innych elementów ciała chorego bez konieczności usuwania opatrunku. Fizyczne właściwości pola elektromagnetycznego o podanych parametrach umożliwiają pełną penetrację tkanek znajdujących się wewnątrz lub na powierzchni aplikatora. Jednocześnie konstrukcja cewki generującej pole magnetyczne powodująca zmniejszanie się indukcji magnetycznej do wartości porównywalnej z indukcją pola ziemskiego już w odle-

głości około 0,5 m od brzegów cewki zapewnia bezpieczeństwo terapii zarówno dla chorego, jak i personelu wykonującego zabiegi [35].

#### Doświadczalne podstawy leczniczego wykorzystania zmiennych pól magnetycznych w terapii przewlekłych ran

U podstaw leczniczego działania wolnozmiennych pól magnetycznych u chorych z owrzodzeniami podudzi leżą dobrze udokumentowane efekty biologiczne ich oddziaływania, obejmujące m.in. [7, 35, 38]:

- intensyfikację procesów utylizacji tlenu i oddychania tkankowego oraz nasilenie procesów oddychania beztlenowego w niedokrwiionych tkankach;
- działanie wazodilatacyjne i angiogenetyczne powodujące rozwój krążenia obocznego w okolicy rany;
- nasilenie procesów reparacji i regeneracji tkankowej związane m.in. z przekształcaniem fibrocytów w fibroblasty z wtórnym pobudzeniem syntezy kolagenu, poprawą jakości powstającej blizny w wyniku ukierunkowywania rozrostu włókien kolagenu wzdłuż linii sił pola magnetycznego oraz pobudzeniem procesu naskórkowania;
- hamowanie procesów infekcyjnych;
- działanie przeciwzapalne, przeciwobrzękowe i przeciwbólowe wpływające korzystnie na proces gojenia oraz samopoczucie chorych;
- działanie antykoagulacyjne;
- korzystny wpływ na przebieg ogólnoustrojowych i miejscowych powikłań cukrzycy.

Według części autorów, jeden z podstawowych mechanizmów regeneracyjnego działania zmiennego pola magnetycznego stanowi pobudzanie procesów dyfuzji oraz wychwytu tlenu przez hemoglobinę i cytochromy powodujące intensyfikację procesu utylizacji tlenu i oddychania tkankowego w narządach poddanych jego oddziaływaniu [4, 31, 47]. W badaniach doświadczalnych potwierdzono pobudzenie procesu oddychania tkankowego w preparatach skóry poddanych działaniu pola magnetycznego *in vivo* i *in vitro* [31]. Nasileniem procesu zaopatrzenia tkanek w tlen tłumaczy się także dobre wyniki uzyskane podczas leczenia zmiennym polem magnetycznym bliznowców [4]. Obserwowano również nasilenie pod wpływem pola magnetycznego procesów oddychania beztlenowego w płatach skórnych i zahamowanie procesów utleniania lipidów wchodzących w skład błon komórkowych [42]. Efekt ten zapobiega procesowi destabilizacji błon i inhibicji enzymów oddechowych, sprzyjając intensyfikacji procesu regeneracji tkanek.

Kolejny przejaw stymulującego oddziaływania pola magnetycznego na procesy reperacji i regeneracji tkankowej stanowi pobudzenie procesów proliferacji komórkowej w warunkach oddziaływania pola obserwowane w badaniach hodowli komórkowych *in vitro*. Ekspozycja fibroblastów ścięgien ptasich w zmiennym polu magnetycznym o niskiej częstotliwości wywoływała wzrost syntezy kolagenu przez te komórki [24]. W pracy obserwowano natomiast wyraźne zwiększenie indeksu wzrostowego w hodowlach ludzkich

embrionalnych fibroblastów eksponowanych w polu magnetycznym [12]. Z kolei w badaniach potwierdzono *in vitro* nasilenie procesu migracji komórek zawiesiny tkankowej i ustawianie się ich wzdłuż linii sił pola magnetycznego [22]. Nasileniu zjawiska proliferacji komórkowej pod wpływem wolnozmiennego pola magnetycznego sprzyjać może również pobudzenie procesu produkcji interleukin IL-1 i IL-6 obserwowane w jednojądrzastych komórkach ludzkiej krwi poddanych *in vitro* działaniu tego pola [9].

W wielu pracach doświadczalnych prowadzonych *in vivo* na modelach zwierzęcych wykazano bezpośredni wpływ zmiennych pól magnetycznych na przyspieszenie procesu reparacji i regeneracji tkankowej. W pracy u szczurów z eksperymentalnie wytworzoną raną poddawanych ekspozycji w wolnozmiennym polu magnetycznym ocena w mikroskopie świetlnym i elektronowym wykazała wyraźne przyspieszenie dojrzałości histologicznej rany, a także znamienne zwiększenie zawartości kolagenu i wcześniejsze pojawienie się nowych naczyń włosowatych w ranie w porównaniu z grupą kontrolną [27]. W doświadczeniu wykazano stymulujący wpływ zmiennego pola magnetycznego na przebieg procesów regeneracyjnych, związany m.in. ze znacznym przyspieszeniem rozwoju krążenia obocznego w uszkodzonej tkance [10]. Z kolei w badaniach eksperymentalnych, w których szczury z doświadczalnie wytworzoną raną skóry poddawano długotrwałemu działaniu zmiennego pola magnetycznego, obserwowano znamienne szybsze zmniejszanie się rozmiarów rany w porównaniu z grupą kontrolną, w której stosowano ekspozycję pozorowaną [28, 29]. W pracy, w której działaniu zmiennego pola magnetycznego poddawano szczury z eksperymentalnie wykonywaną raną ciętą grzbietu stwierdzono znaczne przyspieszenie dojrzałości kolagenu w bliźnie, charakteryzujące się zwiększeniem ilościowej zawartości kolagenu, większą gęstością włókien kolagenowych oraz bardziej regularnym ich ułożeniem w porównaniu z grupą kontrolną, w której stosowano jedynie chirurgiczne zaopatrzenie rany pojedynczym szwem [15]. U zwierząt eksponowanych w polu obserwowano również aktywację peroksydazy glutationowej prowadzącą do hamowania peroksydacji fosfolipidów i stabilizacji błon komórkowych, a także intensyfikację procesu erytropoezy prowadzącą do poprawy wykorzystania tlenu w tkankach w okolicy rany. Zastosowanie zmiennego pola magnetycznego sprzyjało również przyspieszeniu procesu epitelizacji otwartych ran doświadczalnych u psów [33]. Z kolei w badaniach naszego ośrodka, w których oceniano wpływ wolnozmiennego pola magnetycznego na przebieg procesów regeneracyjnych u szczurów z eksperymentalnie wywołanym oparzeniem pełnej grubości skóry grzbietu, nie wykazano wprawdzie w badaniu mikroskopowym uchwytanych morfologicznie różnic w przebiegu procesu gojenia zmian pooparzeniowych pomiędzy zwierzętami eksponowanymi w polu a grupą kontrolną, jednak u zwierząt eksponowanych w polu magnetycznym obserwowano natomiast znamienne wyższą temperaturę powierzchni ciała w okolicy rany pooparzeniowej ocenianą badaniem

termograficznym, co przemawiać może za lepszym ukrwieniem rany u tych zwierząt [5]. Działanie pola magnetycznego wykazywało również istotny korzystny efekt ogólnoustrojowy w przebiegu gojenia przejawiający się znamienym obniżeniem poziomu fibrynogenu i składowej C3 dopełniacza świadczącym o zmniejszeniu zakresu odpowiedzi ostrej fazy w przebiegu oparzenia.

Jak wynika z własnych doświadczeń oraz doniesień innych autorów, pole magnetyczne wywiera także wyraźne miejscowe działanie przeciwzapalne, przeciwbrzękowe i analgetyczne, a także hamujące procesy destrukcyjne i pobudzające reaktywność immunologiczną ustroju w przypadku zmian degeneracyjnych i zapalnych w tkance łącznej [8, 13, 23]. Lokalne działanie przeciwzapalne wolnozmiennego pola magnetycznego wykazano m.in. w badaniu, w którym ekspozycji w impulsowym polu magnetycznym poddawano szczury z doświadczalnie wywołanym zapaleniem ścięgna Achillesa [21]. U zwierząt poddanych działaniu pola stwierdzono silniejsze działanie przeciwbrzękowe przejawiające się mniejszą zawartością wody w tkance ścięgna, a także szybszą normalizację obrazu histologicznego i ustawienia względem siebie włókien kolagenu w porównaniu z grupą kontrolną.

Wyniki licznych badań eksperymentalnych wskazują na powstawanie pod wpływem zmiennego pola magnetycznego silnego efektu analgetycznego, przy czym mechanizm przeciwbólowego działania pola nie jest jeszcze w pełni wyjaśniony. Jak wynika z klasycznych prac, a także własnych doświadczeń autorów, zmienne pola magnetyczne o niskiej częstotliwości mogą m.in. modyfikować aktywność endogennego systemu opioidowego organizmu oraz wpływać na reakcję organizmu na egzogenną podaż opiatów [6, 17, 26]. Istotnym mechanizmem wtórnego, przeciwbólowego działania pola magnetycznego wydaje się być również omówiony powyżej miejscowy efekt przeciwzapalny i przeciwbrzękowy.

W licznych badaniach eksperymentalnych wykazano również istotny wpływ wolnozmiennego pola magnetycznego na układ hemostazy zwierząt doświadczalnych związany ze zmianami właściwości reologicznych krwi zwierząt doświadczalnych poddanych jego działaniu. W pracy stwierdzono występujące pod wpływem pola obniżenie krzepliwości krwi, zmniejszenie wartości wskaźnika hematokrytowego, a także zmniejszenie liczby trombocytów oraz ich zdolności agregacyjnych we krwi psów eksponowanych w polu magnetycznym [10]. Badania wykazały, że ekspozycja myszy w zmiennym polu magnetycznym powoduje rozwinięcie się zespołu hypokoagulacyjnego, podczas gdy u zwierząt unieruchomionych koryguje zespół hyperkoagulacyjny wywołany tym unieruchomieniem [43]. W kolejnej pracy obserwowano fazowy charakter zmian koagulacyjnych krwi i tkanek układu sercowo-naczyniowego myszy, poddanych działaniu zmiennego pola magnetycznego [20]. W pierwszej, kilkudniowej fazie ekspozycji w polu dochodziło u nich do zwiększenia aktywności koagulacyjnej

i fibrynolitycznej krwi, z towarzyszącą inhibicją trombolastycznych składników tkanki sercowej i ścian naczyniowych. W następującej później drugiej fazie dochodziło do inaktywacji zarówno tkankowych, jak i osoczowych czynników koagulacyjnych i fibrynolitycznych. Mechanizm przedstawionych reakcji wiąże się prawdopodobnie pośrednio z polaryzacją błon komórkowych pod wpływem pola magnetycznego, sprzyjającą przemieszczaniu czynników trombolastycznych zarówno do otoczenia, jak i do wnętrza komórek. Tendencja do zmniejszania krzepliwości krwi oraz jej właściwości agregacyjnych pod wpływem działania pola magnetycznego prowadzi do poprawy przepływu żylnego oraz mikrokrążenia w okolicy zmian troficznych i potencjalnie sprzyjać może procesowi gojenia owrzodzeń.

#### **Wyniki badań klinicznych w zakresie terapeutycznego zastosowania zmiennych pól magnetycznych w leczeniu przewlekłych ran**

Wyniki leczenia wolnozmiennym polem magnetycznym, stanowiącym element kompleksowej terapii u chorych z naczyniowymi powikłaniami cukrzycy pod postacią makroangiopatii, wskazują na korzystny wpływ tej formy terapii na przebieg zmian naczyniowych w cukrzycy, stanowiących jeden z istotnych czynników etiologicznych powstawania owrzodzeń podudzi [18]. Efekt leczniczy u chorych poddanych magnetoterapii uzyskiwany był wcześniej i miał zwykle trwalszy charakter. Jednocześnie, istotne znaczenie ma fakt, że u dużej części chorych poprawie stanu naczyń towarzyszyła normalizacja poziomu glikemii, która jest m.in. niezbędnym warunkiem prawidłowego przebiegu procesu gojenia owrzodzeń podudzi.

Wyniki licznych prac potwierdzają korzystny wpływ terapii zmiennym polem magnetycznym na proces gojenia się zainfekowanych ran oraz przebieg infekcji bakteryjnych tkanek miękkich i skóry. Ekspozycja okolicy zainfekowanych ran w zmiennym polu magnetycznym o niskiej częstotliwości powodowała zwiększenie efektywności leczenia przejawiające się w skróceniu czasu gojenia się ran, przyspieszeniu procesu ich oczyszczania się z nekrotycznych tkanek, zwiększeniu wrażliwości zainfekowanych ran na stosowaną antybiotykoterapię, szybszym ograniczeniu i likwidacji ognisk ropnych oraz skróceniu czasu leczenia i poprawie efektywności rehabilitacji [34]. Dołączenie magnetoterapii do klasycznej antybiotykoterapii po chirurgicznym otwarciu ognisk ropnych u noworodków i niemowląt z ropnymi infekcjami skóry oraz tkanek miękkich o różnej lokalizacji powodowało szybszą normalizację temperatury i poprawę stanu ogólnego niemowląt oraz ustępowanie obrzęku tkanek, poprawę mikrokrążenia, a także skrócenie czasu występowania wycieku ropnego [30]. Na skutek przyspieszenia procesów regeneracji tkankowej u niemowląt poddanych magnetoterapii stwierdzono zmniejszenie liczby powikłań oraz skrócenie czasu hospitalizacji w porównaniu z grupą kontrolną leczoną tradycyjnie. Z kolei dołączenie terapii zmiennym polem magnetycznym do rutynowego postępowania

z oparzeniami dłoni spowodowało zahamowanie rozwoju mikroflory bakteryjnej w ranie oparzeniowej, zwiększenie wrażliwości gronkowców oraz pałeczki ropy błękitnej na liczne antybiotyki, przyspieszenie gojenia się oparzeń powierzchniowych, a także lepsze przygotowanie rany do przeszczepów skóry w przypadku oparzeń głębokich [14].

Zachęcające wyniki przedstawionych powyżej badań doświadczalnych i klinicznych spowodowały, że w 1974 roku podjęto pierwsze próby klinicznego wykorzystania wolnozmiennych pól magnetycznych w leczeniu owrzodzeń podudzi. W pilotowych badaniach wykazano, że dołączenie magnetoterapii do klasycznej terapii owrzodzeń podudzi obejmującej miejscową antybiotykoterapię, opracowanie chirurgiczne owrzodzenia oraz opatrunki klejowe i środki pobudzające ziarninowanie, powoduje wyraźną poprawę wyników leczenia oraz znaczne skrócenie czasu trwania terapii [11, 25]. Zastosowanie pulsującego pola magnetycznego o niskiej częstotliwości przez 20 minut dziennie sprzyjało u tych chorych poprawie miejscowego mikrokrążenia, powodując przyspieszenie przede wszystkim pierwszej fazy gojenia. W pracy Tiurajewa leczeniu polem magnetycznym o indukcji 20 mT poddano 50 pacjentów z wywiadem owrzodzenia podudzi, o czasie trwania choroby od 8 miesięcy do 4 lat [44]. Czas trwania pojedynczego zabiegu mieścił się w zakresie od 10 do 20 minut. Zabiegi wykonywane były początkowo codziennie, do momentu całkowitego oczyszczenia się owrzodzenia, a następnie 2—3 razy w tygodniu. Po zakończeniu cyklu magnetoterapii pełne wygojenie owrzodzenia uzyskano u 26 chorych. Jednocześnie u ponad 80% chorych ustąpiły bóle towarzyszące zmianom chorobowym. Czas trwania remisji wynosił od ośmiu miesięcy do czterech lat. W innej pracy, w której leczeniu polem magnetycznym poddano 67 chorych z owrzodzeniami podudzi o różnej etiologii i wielkości, osiągnięto równie korzystne rezultaty, stosując podobną procedurę zabiegów [45]. Całkowite wygojenie owrzodzenia uzyskano u 57 osób, a długotrwała obserwacja tych chorych trwająca od 1 do 7 lat wykazała nawrót dolegliwości jedynie u dziewięciu chorych. W grupie kontrolnej, którą stanowiło 30 chorych leczonych w sposób tradycyjny, całkowite wygojenie owrzodzeń nastąpiło jedynie u czterech, a nieznaczne zmniejszenie rozmiarów owrzodzenia u 15 chorych.

Pozytywny efekt leczniczy magnetoterapii w leczeniu owrzodzeń podudzi obserwowano także w randomizowanych badaniach z użyciem podwójnie ślepej próby, w których chorych z owrzodzeniami o powierzchni poniżej 2 cm<sup>2</sup> poddawano przez cztery godziny dziennie działaniu zmiennego pola magnetycznego o częstotliwości 75 Hz i indukcji 2,9 mT przez okres 90 dni [16]. W grupie tej uzyskano znamienne przyspieszenie czasu gojenia owrzodzeń w porównaniu z grupą kontrolną, w której stosowano efekt *placebo*. Kolejne badanie z użyciem kontrolowanej, podwójnie ślepej próby prowadzono u 19 chorych z przewlekłymi owrzodzeniami podudzi, u których terapię za pomocą zmiennego pola magnetycznego dołączono do rutynowego postępowania leczniczego, obejmującego antybiotyko-

terapię i utrzymywanie aseptyki rany [46]. W leczeniu stosowano pola o częstotliwości 5 Hz i indukcji 6 mT, 15 minut dziennie w trakcie dwóch pięciodniowych cykli terapeutycznych. W grupie chorych poddanej magnetoterapii obserwowano wyraźną tendencję do szybszego zmniejszania się rozmiarów owrzodzenia oraz obwołu zajętej procesem chorobowym kończyny w stosunku do grupy kontrolnej, w której stosowano ekspozycję pozorowaną, chociaż uzyskane różnice nie wykazywały znamienności statystycznej.

Porównanie skuteczności terapeutycznej różnych rodzajów pola magnetycznego: stałego, zmiennego i impulsowego u 126 chorych ze zmianami nekrotyczno-owrzodzeniowymi kończyn dolnych o różnej etiologii potwierdziło w tych przypadkach największą efektywność terapii polem impulsowym [1].

W badaniach własnych leczeniu za pomocą zmiennego pola magnetycznego poddano 142 chorych (w tym 101 kobiet i 41 mężczyzn) w wieku 34—81 lat [36, 39, 40]. Wszyscy chorzy w tej grupie mieli przewlekłe, nie gojące się owrzodzenia podudzi o różnej etiologii (103 przypadki zmian naczyniowych, 31 przypadków cukrzycy, 8 przypadków zmian pourazowych). U większości osób zmiany występowały na jednej kończynie, a w pięciu przypadkach na obu. Większość miała owrzodzenia pojedyncze, a jedynie 22 osoby mnogie, przy czym u wszystkich występowały one na dolnej 1/3 części goleni. U chorych zmierzono najdłuższy wymiar największego owrzodzenia. Uzyskane w ten sposób wyniki pomiarów mieściły się w przedziale od 12 do 120 mm (średnio 55 mm). U 23 pacjentów owrzodzeniom towarzyszyły silne dolegliwości bólowe. U pozostałych były one znacznie mniejsze lub nie występowały. W chwili rozpoczęcia magnetoterapii wszyscy byli bezskutecznie leczeni metodami klasycznymi przez okres od 2—14 miesięcy, a w jednym przypadku 12 lat.

Chorych, w zależności od parametrów użytego pola, podzielono na dwie grupy. Chorzy z grupy pierwszej (78 osób) poddani byli ekspozycji w polu o przebiegu sinusoidalnym, częstotliwości 40 Hz i indukcji 2,5—4,5 mT. Z kolei pacjenci z grupy drugiej eksponowani byli w polu o przebiegu prostokątnym, częstotliwości 5 Hz i indukcji 3,8—8,4 mT. Jedna kobieta, o najdłuższym czasie trwania choroby, eksponowana była w pierwszej fazie leczenia w polu o parametrach, jak w grupie pierwszej, natomiast w drugiej fazie leczenia w polu o parametrach jak w grupie drugiej. Czas trwania pojedynczych ekspozycji wynosił w obu grupach 12 minut dziennie, przy czym leczenie prowadzono pięć dni w tygodniu. W trakcie leczenia nie stosowano żadnego typowego w takich przypadkach postępowania dermatologicznego, z wyjątkiem zabiegów mających na celu utrzymanie jałowości owrzodzenia. Terapię kontynuowano do momentu osiągnięcia pełnego pokrycia zmiany naskórkiem.

Przebieg reakcji na leczenie oraz uzyskane wyniki były zbliżone w obu grupach, przy czym u chorych poddanych działaniu pola o przebiegu prostokątnym obserwowano silniejsze działanie przeciwbólowe i prze-

ciwzwalne, natomiast chorzy ekspozowani w polu o przebiegu sinusoidalnym wykazywali wyraźniejsze przyspieszenie procesu naskórkowania. U większości chorych najwcześniejszym efektem terapii, który obserwowano po około 7—10 ekspozycjach, było oczyszczanie się owrzodzenia z ropnego nalotu. Wydzielina zmieniała stopniowo charakter na surowiczy i dochodziło do zanikania charakterystycznego gnilnego zapachu. W tym też okresie ustępowały dolegliwości bólowe u wszystkich cierpiących na nie chorych. Po około 15 ekspozycjach dochodziło do zmniejszenia się obrzęków oraz ilości wydzielanej z rany treści surowiczej. Pojawiała się również drobnoziarnista, różowa ziarnina, która stopniowo pokrywała się strupem. Po około 20 ekspozycjach rozwijał się rąbek naskórka na obrzeżu rany i dalej naskórkowanie postępowało pod strupem. W miarę oddzielania się strupa jego miejsce zajmował młody naskórek. Od tego momentu obserwowano istotną poprawę stanu klinicznego, przejawiającą się głównie zmniejszeniem rozmiarów owrzodzenia. Jednocześnie u 29 chorych obserwowano poprawę trofiki skóry w okolicy owrzodzenia – przybierała ona ponownie prawidłowe zabarwienie. Pełną epitelizację owrzodzenia uzyskano w 24 przypadkach po 40 ekspozycjach, w 32 przypadkach po 60 zabiegach, w 47 przypadkach po 75 ekspozycjach, a u 19 chorych po odbyciu 90 zabiegów. W przypadku chorej o najdłuższym czasie trwania choroby, pełne zagojenie owrzodzenia nastąpiło po 105 zabiegach. U trzech pacjentów, którzy przerwali leczenie z powodów niezależnych od przebiegu terapii przed zakończeniem cyklu 15 ekspozycji, nie uzyskano do tego momentu żadnej poprawy stanu klinicznego. Z kolei u 13 chorych, którzy przerwali terapię po 40—75 zabiegach, nie udało się uzyskać pełnego zagojenia, pomimo osiągnięcia znaczącej poprawy subiektywnej i wyraźnego zmniejszenia rozmiarów owrzodzenia. W trakcie terapii u żadnego z chorych nie obserwowano istotnych powikłań, ani działań ubocznych stosowanej terapii.

Korzystne efekty stosowania magnetostymulacji w leczeniu owrzodzeń podudzi potwierdzono u 21 chorych z żyłnymi owrzodzeniami goleni, których poddano przez osiem dni, po 12 minut dziennie magnetostymulacji przy użyciu aparatu Viofor JPS, generującego pole magnetyczne o indukcji 10  $\mu$ T [37]. U chorych tych obserwowano w obiektywnej ocenie planimetrycznej znamienne szybsze zmniejszenie się rozmiarów owrzodzenia oraz powierzchni obszaru zainfekowanego w porównaniu z grupą kontrolną poddaną stymulacji pozorowanej.

Jak wynika z przedstawionych danych eksperymentalnych i klinicznych, wskazania do terapii zmiennym polem magnetycznym istnieją w przypadku przewlekłych ran o różnym charakterze i etiologii, a w szczególności [38]:

- owrzodzeń podudzi o podłożu żylakowatym, miażdżycowym i cukrzycowym,
- ran pooparzeniowych,
- odleżyn,
- długo niegojących się ran pooperacyjnych i porazowych.

Zabiegi magnetoterapii i magnetostymulacji powinny być wykonywane codziennie, najlepiej o tej samej porze dnia. Zalecany czas trwania zabiegów wynosi najczęściej 12—15 minut, przy czym nie powinien on przekraczać 60 minut. W przypadku magnetoterapii, w leczeniu ran przewlekłych zalecane jest stosowanie niższych częstotliwości w zakresie 5—12 Hz i indukcji w zakresie 4—8 mT. Z kolei w leczeniu ran ostrych i oparzeniowych wskazane jest stosowanie pól o wyższej częstotliwości (20—50 Hz) i indukcji wynoszącej około 10 mT. W przypadku magnetostymulacji w celu opracowania szczegółowych procedur terapeutycznych konieczne jest jeszcze przeprowadzenie dalszych randomizowanych badań na liczniejszym materiale klinicznym. W ostatecznym doborze parametrów fizycznych pola magnetycznego należy kierować się zarówno zaleceniami producentów aparatury oraz doniesieniami literaturowymi, jak i własnymi doświadczeniami klinicznymi zdobytymi w indywidualnych przypadkach [38].

Zgodnie z aktualnym stanem wiedzy, istnieją jedynie nieliczne przeciwwskazania do stosowania magnetoterapii i magnetostymulacji. Należą do nich m.in.: nowotwory, ciąża, czynna gruźlica, infekcje o ciężkim przebiegu i różnej etiologii, nadczynność tarczycy, krwawienie z przewodu pokarmowego, obecność elektronicznych implantów, oraz według części autorów, cukrzyca młodzieńcza [35]. To ostatnie przeciwwskazanie w świetle najnowszych badań doświadczalnych i klinicznych jest obecnie kwestionowane.

Zabiegi magnetoterapii i magnetostymulacji są dobrze tolerowane przez chorych i nie powodują istotnych działań ubocznych. U niewielkiej liczby pacjentów ze wzmożoną aktywnością układu wegetatywnego w początkowej fazie terapii może wystąpić uczucie mrowienia, drętwienia i ciepłoty w okolicy poddanej ekspozycji oraz uczucie rozdrażnienia, zaburzenia snu i koncentracji a także przejściowe nasilenie dolegliwości bólowych. Objawy te mają niewielkie nasilenie i stopniowo ustępują, nie wymagając przerwania terapii.

Podsumowując, należy podkreślić, że magnetoterapia i magnetostymulacja charakteryzują się wysoką skutecznością terapeutyczną u chorych z przewlekłymi ranami i owrzodzeniami skóry, będąc jednocześnie nieobciążającymi dla pacjenta i pozbawionymi istotnych działań ubocznych. Możliwe jest również ich stosowanie łącznie z terapią klasyczną, gdyż zmienne pole magnetyczne całkowicie przenika opatrunki. Z kolei ze względu na niewielkie rozmiary i łatwość obsługi aparatury obie metody można stosować także w warunkach ambulatoryjnych. Powyższe uwarunkowania pozwalają rekomendować magnetoterapię i magnetostymulację jako cenne uzupełniające metody leczenia przewlekłych ran i owrzodzeń skóry o różnej etiologii.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Informatyzacji w latach 2004—2007, jako projekt badawczy zamawiany PBZ-KBN-098/T09/2003.



## Piśmiennictwo

- Aleksiejenko AW, Gusak WW (1991) Leczenie troficznych jaszczurów przy pomocy impulsowego pola magnetycznego. *Klin Khir* 7:60—63
- Arendt J (1994) Gojenie ran. Przegląd piśmiennictwa chirurgicznego. Fundacja Polski Przegląd Chirurgiczny, Warszawa
- Ashcroft GS, Horan MA, Ferguson MW (1995) The effects of ageing on cutaneous wound healing in mammals. *J Anat* 1:187:1—26
- Besozzi F (1983) Applicazioni dei campi elettromagnetici pulsanti nella pratica medica. *Agg Elettro-Magnetom* 1:37—43
- Biniszkiwicz T, Sieroń A, Grzybek H, Poloczek R, Słezak A (1997) Wpływ wolnozmiennego pola magnetycznego (ELF-MF) na doświadczalne oparzenia termiczne skóry szczurów. *Balneol Pol* 3—4:39:138—145
- Cieślak G, Mrowiec J, Sieroń A, Plech A, Biniszkiwicz T (1994) Zmiana reaktywności szczurów na termiczny bodziec bólowy po wpływie zmiennego pola magnetycznego. *Balneol Pol* 3—4:36:24—28
- Cieślak G, Sieroń A (2001) Zastosowanie wolnozmiennych pól magnetycznych w leczeniu owrzodzeń podudzi. In: Franek A, Kucharzewski M, Sieroń A (eds) *Zachowawcze leczenie owrzodzeń żylnych podudzi*. Śląska Akademia Medyczna, Katowice, pp. 69—82
- Cieślak G, Sieroń A, Adamek M, Żmudziński J (1992) Wykorzystanie zmiennego pola magnetycznego w leczeniu choroby zwyrodnieniowej stawów. *Balneol Pol* 1—4:34:133—148
- Cossarizza A, Angioni S, Petraglia F, et al. (1993) Exposure to low frequency pulsed electromagnetic fields increases interleukin-1 and interleukin-6 production by human peripheral blood mononuclear cells. *Exp Cell Res* 2:204:385—387
- Diemiecki AM (1981) Eksperymentalno-obosnowanie przymienienia iskustwicznych magnitnych pól w chirurgii. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1:43—46
- Einfeldt H, Heise-Reinecker E (1985) Erste Erfahrungen mit Magnetfeldtherapie bei Ulcera crurum. *Phlebol Proktol* 14:149—152
- Filipic B, Jeglic A, Fefer D, Kozlevcar M, Bratanic J, Rozman S, Vrhovec B (1983) Effects of low frequency, low intensity electromagnetic fields on cell cultures *in vitro*. 2<sup>nd</sup> Congress of the European Bioelectromagnetics Association, Bled, Transactions, pp. 54
- Focke H (1983) Experiences with the use of magnetic field therapy in equine medicine. *Biophys Med Rep* 1:1—20
- Gajdiuk WI, Skaczkowa NK, Fiedorowska EA (1985) Wpływ pola magnetycznego na mikroflorę i zażylenie ozogowych ran. *Vest Khir* 134:69—74
- Glinka M, Sieroń A, Birkner E, Grzybek H (2002) The influence of magnetic fields on the primary wound healing of incisional wounds in rats. *Electromagn Biol Med* 2:21:169—184
- Ieran M, Zalfuto S, Moratti A, Bagnacani M, Cadossi R (1987) PEMF stimulation of skin ulcer of venous origin in humans: preliminary report of double blind study. *J Bioelectr* 1:6:181—186
- Kavaliers M, Ossenkopp KP (1986) Magnetic field inhibition of morphine-induced analgesia and behavioral activity in mice: evidence for involvement of calcium ions. *Brain Res* 1:379:30—38
- Kirilov IB, Suchkova ZV, Lastushkin AV, Sigaev AA, Nekhaeva TI (1996) Magnetotherapy in the comprehensive treatment of vascular complications of diabetes mellitus. *Klin Med* 5:74:39—41
- Kłodowski K (1992) Ocena wyników leczenia owrzodzeń troficznych podudzi. *Wiad Lek* 15—16:45:197—599
- Kuksinski WJ (1978) Koagulologiczeskie swojstwa krwi i tkanek sirdieczno-sosudistoj sistemi pri wozdejstwii elektromagnitnogo pola. *Kardiologija* 18:107—111
- Lee EW, Maffulli N, Li CK, Chan KM (1997) Pulsed magnetic and electromagnetic fields in experimental achilles tendonitis in the rat: a prospective randomized study. *Arch Phys Med Rehabil* 4:78:399—404
- Marinozzi G (1982) Effetti dei campi magnetici pulsanti su colture cellulari. *Giorn It Oncol* 2:87—91
- Mitbreit IM, Sawczenko AG, Wolkowa LP, Proskurowa GI, Szubina AW (1986) Nizkoczystotnoje magnitnoje pole w kompleksnom leczeniu bolnych spojasnitszym ostieochondrozom. *Ortop Travmatol Protez* 10:24—27
- Murray JC, Farndale RW (1985) Modulation of collagen production in cultured fibroblasts by a low-frequency, pulsed magnetic field. *Biochim Biophys Acta* 1:838:98—105
- Mühlbauer W (1974) Der Einfluss magnetischer Felder auf die Wundheilung. *Langebecks Archiv Chir* 337:637—642
- Ossenkopp KP, Kavaliers M (1987) Morphine-induced analgesia and exposure to low-intensity 60 Hz magnetic fields: inhibition of nocturnal analgesia in mice is function of magnetic field intensity. *Brain Res* 2:418:356—360
- Ottani V, Depasquale V, Govoni P, Franchi M, Zaniol P, Ruggeri A (1988) Effects of pulsed extremely low frequency magnetic field on skin wounds in rat. *Bioelectromagnetics* 1:9:53—62
- Patino O, Grana D, Bolgiani A, Prezzavento G, Merlo A (1996) Effect of magnetic fields on skin wound healing. *Experimental study*. *Medicina* 1:56:41—44
- Patino O, Grana D, Bolgiani A, Prezzavento G, Mino J, Merlo A, Benaim F (1996) electromagnetic fields in experimental cutaneous wound healing in rats. *J Burn Care Rehabil* 17(6 Pt 1):528—531
- Prokopowa LW, Mielniczenko WA, Kokiński PH, Sierbiuk WW (1987) Magnitoterapija w kompleksnom leczenii gnojno-wospalitelnych zabolewanij miagkich tkaniej u noworozhdionnych. *Klin Khir* 6:51—53
- Rabinowicz EZ, Taran JP, Usaczewa MD, Epstein IM, Kuzniecowa AN (1983) Wpływ pola magnetycznego na dychanie skóry człowieka przy reparaacyjnych i destrukcyjnych procesach. *Biophysik* 28:693—697
- Richardson JD, Polk HC, Flint LM (1987) Trauma: clinical care and pathophysiology. *Year Book Medical Publishers Inc., Chicago-London*, pp. 213—259
- Scardino MS, Swaim SF, Sartin EA, Steiss JE, Spano JS, Hoffman CE, Coolman SL, Peppin BL (1998) Evaluation of treatment with a pulsed electromagnetic field on wound healing. *clinico-pathologic variables and central nervous system activity of dogs*. *Am J Vet Res* 9:59:1177—1181
- Serbiuk WW, Giercien IG, Kryłow HL, et al. (1987) Priedupriedzhenije i leczenije gnojnych osložnienij otkrytych powriedzenij kostiej i sustawow. *Ortop Travmatol Protez* 9:42—43
- Sieroń A, Cieślak G, Kawczyk-Krupka A, Biniszkiwicz T, Bilska-Urban A, Adamek M (2002) Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie. *α-Medica Press, Bielsko-Biala*
- Sieroń A, Cieślak G, Żmudziński J (1994) Doświadczania kliniczne w stosowaniu zmiennego pola magnetycznego *Pol Tyg Lek* 10—11:49:261—264
- Sieroń A, Franek A, Brzezińska-Wcisło L, et al. (2005) Próba obiektywizacji oceny skuteczności terapeutycznej magnetostymulacji w leczeniu owrzodzeń żylnych podudzi. *Balneol Pol* 1—25:47:33—40
- Sieroń A, Glinka M (2002) Wpływ pól magnetycznych o zakresach terapeutycznych na proces gojenia się skóry i tkanek miękkich. *Chir Pol* 4:4:153—158
- Sieroń A, Żmudziński J, Cieślak G, Adamek M (1991) Wykorzystanie pola magnetycznego w leczeniu owrzodzenia podudzi. *Pol Tyg Lek* 37—39:46:717—720
- Sieroń A, Żmudziński J, Cieślak G, et al. (1991) Leczenie owrzodzeń podudzi za pomocą zmiennego pola magnetycznego. *Przegl Dermatol* 3:78:195—200

41. Skover GR (1991) Cellular and biochemical dynamics of wound repair. *Clin Pediatric Med Surg* 4;8:723—756
42. Szyłow WN, Rabinowicz EZ, Kuzmiecowa AN (1983) Wpływ pola magnetycznego na chemiluminescencyjne charakterystyki skóry przy jej destrukcji. *Biophysik* 28:698—703
43. Tiemurjanec NA, Michajłow AW (1985) Wpływ słabego prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz na rozwój guzka krwotoczno-obliteracyjnego przy ograniczeniu przepływu krwi u królika. *Biophysik* 30:1046—1049
44. Tiurajewa AA (1967) Leczenie prądem przemiennym o niskiej częstotliwości ran i infekcyjnych ran. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 32:48—50
45. Tiurajewa AA, Pomzowski YM, Akimow GL (1977) Wpływ prądu przemiennego o niskiej częstotliwości na gojenie się ran. *Vest Khir* 119:84—85
46. Todd DJ, Heylings DJ, Allen GE, Mc Millin WP (1991) Treatment of chronic varicose ulcers with pulsed electromagnetic fields: a controlled pilot study. *Ir Med J* 2;84:54—55
47. Warnke U (1981) Infrared radiation and O<sub>2</sub>-partial pressure in human surfacial tissue as indicator of the therapeutic effects of pulsating magnetic fields of extremely low frequency. *Biophys Med Rep* 2:1—7