

Wpływ pól magnetycznych o zakresach terapeutycznych na proces gojenia się skóry i tkanek miękkich

The influence of magnetic fields in therapeutic parameters on the healing process of skin and soft tissues

Aleksander Sieroń¹, Marek Glinka²

¹Katedra i Oddział Kliniczny Chorób Wewnętrznych i Medycyny Fizykalnej Śląskiej Akademii Medycznej, Bytom (The Chair and Clinic of Internal Diseases and Physical Medicine, Bytom, Silesian Medical University, Katowice, Poland)

²Oddział Chirurgii Ogólnej Szpitala Rejonowego, Strzelce Opolskie (Department of Surgery, Regional Hospital, Strzelce Opolskie, Poland)

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe problemy patofizjologiczne zaburzeń gojenia się ran przewlekłych oraz wykorzystanie terapii wolnozmiennymi polami magnetycznymi, jako leczenia wspomagającego. Wolnozmienne pola magnetyczne aktywują procesy regeneracyjne w ranach przewlekłych oraz powstrzymują dalszą destrukcję tkanek, stabilizują błony komórkowe poprzez hamowanie procesów peroksydacji lipidów. W sytuacjach powikłanego gojenia ran magnetoterapia wspomaga klasyczną terapię chirurgiczną, jest bezpieczną i stosunkowo tanią metodą coraz szerzej wykorzystywaną obecnie zarówno w chirurgii, ortopedii, jak i dermatologii i rehabilitacji.

Słowa kluczowe: rany przewlekłe, wolnozmienne pola magnetyczne, magnetoterapia

Summary

The basic pathophysiological problems of disorders in chronic wound healing and the use of extremely low frequency magnetic fields, as a complement factor in the therapy are presented in the article. Extremely low frequency magnetic fields stimulate the activity of regeneration processes in chronic wounds and delay the tissues' destruction. They inhibit the destabilisation of cellular membranes and lipid peroxidation. Magnetotherapy can be useful and practical supplement in the treatment of chronic wounds with minimal contraindication, very often used in general surgery, orthopedics, dermatology and rehabilitation.

Key words: chronic wounds, extremely low frequency magnetic field, magnetotherapy

Zdolność odrastania tkanki macierzystej (*regeneratio*) lub zastępowanie ubytku tkanką łączną (*reperatio*) to dwa mechanizmy obrony organizmu przeciwko uszkadzającym czynnikom fizycznym i chemicznym, występującym w otaczającym go środowisku. Gojenie się ran skóry to proces reperacji, stanowiący jeden z mechanizmów obrony i zachowania homeostazy po zadziałaniu urazu, przerywającego ciągłość skóry [1, 2]. Ostatnio prowadzone badania wykazują wzajemne wyłączenie się regeneracji i reperacji. Po zadziałaniu urazu uaktywnia się tylko jeden z tych mechanizmów, przy czym w wypadku ran skóry u dorosłych ssaków jest to reperacja, a jedynie u płodów i noworodków — regeneracja [3–5].

The ability of tissue regeneration and lesion complement (repair), especially by connective tissue, are considered to be the basic mechanisms of the body's defence against the traumatic physical and chemical factors in the surrounding environment. The wound healing of skin is a repair process, treated as a part of the homeostatic mechanism leading to the preservation of body integration [1, 2]. The latest studies have shown the bilateral exclusion of regeneration and repair processes. Only one of these mechanisms can be revealed after trauma; in adult mammals it is only regeneration [3–5]. Wound healing in the human body consists of the creation of connective tissue's scar, covered by epithe-

U ludzi gojenie się rany polega na wytworzeniu blizny łącznotkankowej, wypełniającej ubytek skóry, pokrytej nabłonkiem naskórkowym. Proces ten można rozumieć jako kilka następujących po sobie wydarzeń, które — przynajmniej teoretycznie — powinny być uaktywnione zaraz po zranieniu. Jednak praktyka kliniczna często rozmiąga się z teorią, ukazując bezsilność lekarzy wobec problemu powikłanego gojenia się ran, określanych w literaturze anglojęzycznej jako *chronic wounds* — rany przewlekłe. Rozwiązanie tego problemu stanowi jedno z kluczowych zadań współczesnej chirurgii [1, 3, 6].

Do zaburzeń gojenia dochodzi najczęściej w wypadku ran niezaopatrzonych chirurgicznie, zaopatrzonych wadliwie lub w przypadku których pierwotne zaopatrzenie chirurgiczne z reguły skazane jest na niepowodzenie. Takie przewlekłe rany mogą się goić bardzo długo lub nie goić wcale, stanowiąc trudny i nierzadko frustrujący problem kliniczny oraz socjalny i ekonomiczny dla pacjentów i ich rodzin. Złożoność przyczyn niegojenia się rany wymaga interdyscyplinarnego podejścia do problemu, zmuszając lekarzy różnych specjalności do współdziałania [3, 7, 8].

Można wyróżnić 3 grupy pacjentów narażonych na powstanie ran przewlekłych:

1. Grupa pierwsza — pacjenci ze schorzeniami ośrodkowego układu nerwowego, zarówno samoistnymi (np. *Sclerosis multiplex*), jak i pourazowymi. U tych chorych rozwijają się odleżyny, związane z brakiem ruchu, zanikiem czucia oraz zaburzeniami krążenia lokalnego, spowodowane długotrwałym uciskiem tego samego miejsca. Jeśli oprócz odleżyn powstanie infekcja (co często ma miejsce), to rozwija się owrzodzenie odleżynowe. Do typowych miejsc podatnych na powstawanie odleżyn należą krętarze, pięty i okolica krzyżowo-guziczna.
2. Grupa druga — pacjenci z niewydolnym krążeniem obwodowym, zarówno tętniczym (np. miażdżyca), jak i żylnym (np. zespół pozakrzepowy). W tej grupie rany o charakterze przewlekłym to najczęściej owrzodzenia podudzi, a chorzy bardzo często zagrożeni są amputacją.
3. Grupa trzecia: pacjenci w podeszłym wieku, u których przewlekłe rany rozwijają się wśród osób ze wszystkich grup wiekowych, a przyczyną mogą być różne schorzenia związane z tym okresem życia [3, 6, 7, 9, 10].

Osobną grupę chorych stanowią osoby, u których przewleka się gojenie rany pierwotnie zaopatrzonej (np. po zabiegu operacyjnym) oraz chorzy z ranami oparzeniowymi, których patofizjologia obejmuje nie tylko ostre zaburzenia miejscowe, ale również zjawiska ogólnoustrojowej odpowiedzi na uraz termiczny [3, 6, 11]. Do inicjacji lub szybszego rozwoju ran przewlekłych przyczynia się współistnienie schorzeń towarzyszących, takich jak: cukrzyca, niewydolność nerek czy miażdżyca. W wyniku makro- i mikroangiopatii w takich przypadkach może dojść do krytycznego niedokrwienia kończyn dolnych i martwicy tkanek, powikłanej infekcją oraz do powstania i rozwoju owrzodzeń. Do innych przyczyn upośledzających gojenie należą: niedożywienie, awitaminozy,

lial epidermis. This process is explained as a series of physiological activities, which should be activated just after trauma. But very often clinical practice does not fulfil the expectations of physicians, revealing their helplessness in the matter of not healing wounds, described as chronic wounds [1, 3, 6].

The chronic wound disorders are met in the case of not surgically developed or not correctly developed wounds or in wounds with no view for proper healing. Such chronic wounds may heal for a long time or not heal at all. In spite of medical progress, chronic wounds are a serious problem, not just for physicians, and they also present social, psychological and often financial problems for patients. The reasons for disturbances in wound healing need a complex and multidisciplinary approach to this problem, requiring the cooperation of physicians representing various specialisations [3, 7, 8].

Patients jeopardised by chronic wound healing can be divided into three groups:

1. First group: Patients with central nervous system disorders, either primal, *i.e.* *Sclerosis multiplex*, or post-traumatic. There are problems in this group with developing bedsores caused by the lack of physical activity, sensitive and local circulation disorders, induced by permanent local compression. All local skin disorders are accompanied by infection, which leads to bedsores developing. The heels, trochanters and the sacral region are the typical places of the bedsores appearing.
2. Second group: Patients with insufficient peripheral circulation, both arterial and venous. Wounds in this group appear as leg ulcers, which leads very often to amputation.
3. Third group: Old-age patients with multiple reasons for wound healing disorders [3, 6, 7, 9, 10].

A separate group of patients is that with disorders of primal developed wounds (*i.e.* after the operation procedure), and burn wounds, where the pathophysiology is more complex, representing not only local but also systemic body response to the trauma [3, 6, 11]. The wound healing disorders are accelerated also by accompanying diseases, arteriosclerosis and renal insufficiency. In these cases the micro- and macroangiopathy lead to critical ischaemia of the lower limbs, tissue necrosis and, consequently, sore development. There are also different reasons delaying the wound healing, such as: avitaminosis, malnutrition, the application of steroid and cytostatic drugs, genetic disorders, long surgical procedures, strain, sewn wounds *etc.* [1, 2, 5, 6, 12, 13].

The problem is often met in old patients, suffering from age-related diseases, such as arteriosclerosis, bone and joint system and nervous system disorders. There is no problem with acute wound treatment, since they usually heal quickly, or are covered with flap transplants. Chronic wounds heal over a long time, or do not heal at all. A long process of recovery from illness or an unfavourable course of healing contributes to crippling and sometimes to the patient's death. This has been the stimulus for physicians and researchers to look for methods of treatment supporting classical therapeutic methods.

stosowanie kortykosteroidów i cytostatyków, zaburzenia genetyczne, długie, przeciągające się zabiegi chirurgiczne, szycie rany pod napięciem i inne [1, 2, 5, 6, 12, 13].

Z problemem tym spotykamy się bardzo często u ludzi w podeszłym wieku, cierpiących zazwyczaj na schorzenia związane z wiekiem, na przykład na miażdżycę, choroby układu ruchu i układu nerwowego. U pacjentów tych o wiele częściej niż u młodych osób występują rany o charakterze przewlekłym, jak owrzodzenia podudzi czy odleżyny, w leczeniu których zawodzi klasyczna terapia chirurgiczna. Zmusiło to lekarzy i badaczy do poszukiwania metod leczenia wspomagających klasyczne sposoby terapii. Taką metodą jest terapia wolnozmiennym polem magnetycznym — ELF-MF (*Extremely Low Frequency Magnetic Fields*). Pole to charakteryzuje się częstotliwością do 100 Hz i indukcją rzędu 0,1–20 mT, natomiast jego składowa elektryczna zamyka się w przedziale 150–500 V/m. Wartość maksymalna indukcji tego pola jest prawie 1000 razy większa od pola magnetycznego Ziemi [14, 15].

Rezultaty w zakresie prac nad wykorzystaniem zmiennego pola magnetycznego w medycynie osiągnięto głównie w okresie ostatnich 30 lat. Nastąpiło to w związku z postępem technicznym, a w szczególności — z rozwojem elektroniki, informatyki i technik pomiarowych. Postęp ten umożliwił prowadzenie prac badawczych i wykorzystanie kliniczne, które zawężono obecnie do:

- zastosowania diagnostycznego pola magnetycznego — obrazowania metodą rezonansu magnetycznego (MRI, *magnetic resonance imaging*);
- terapeutycznego stosowania wolnozmiennych ELF-MF;
- badania wpływu działania pól magnetycznych otaczającego środowiska na organizm człowieka, szczególnie pod kątem ich szkodliwości [16–18].

Korzystny wpływ zmiennego pola magnetycznego o parametrach leczniczych spowodował rozwój badań nad podstawami biofizycznymi i biologicznymi działaniami pola. Obecnie znane są dość szczegółowe zjawiska zachodzące w żywym organizmie, poddanemu działaniu zmiennego pola magnetycznego. Do mechanizmów biofizycznych można zaliczyć [14, 16, 19–21]:

1. Oddziaływanie na nieskompensowane spiny magnetyczne pierwiastków paramagnetycznych i wolnych rodników oraz molekuly diamagnetyczne. Zewnętrzne pola magnetyczne, przez nakładanie się na nieskompensowane spiny pierwiastków paramagnetycznych, mogą powodować podwyższenie momentu magnetycznego tych pierwiastków. Jeśli są one składnikiem koenzymów lub grup prostetycznych enzymów, może dojść do uaktywnienia lub inhibicji reakcji enzymatycznej.
2. Wpływ na występujące w organizmie tak zwane ciekłe kryształy, jako składnik błon biologicznych. Mogą one występować w fazach: nematycznej, cholesterolowej i smektycznej. Zmiana ich struktury powoduje zmianę właściwości biologicznych, na przykład przepuszczalności membran.
3. Przemieszczanie poruszających się ładunków elektrycznych jako wynik działania siły Lorentza i efektu

One such useful method turned out to be therapy by extremely low frequency magnetic fields (ELF MF). These fields are characterised by frequencies to 100 Hz, field strength 1–20 mT and electrical field intensity from 150 to 500 V/m [14, 15].

Progress in the medical usage of magnetic fields has been developing for the last thirty years. The constant progress in electronics, metrology and computer programming has helped to increase the scientific studies, including:

- diagnostic use of magnetic fields — Magnetic Resonance Imaging (MRI);
- therapeutic use of low frequency magnetic fields;
- detecting of harmful activities of magnetic fields on human body [16–18].

The positive influence of magnetic fields in the therapeutic parameters stimulates progress in the biophysical and biological studies of magnetic field activities. Contemporary knowledge represents all the details and phenomena occurring in living body that are influenced by magnetic fields.

The biophysical mechanisms are represented by [14, 16, 19–21]:

1. The activity on non-compensated magnetic spins of paramagnetic elements, free radicals and diamagnetic molecules. The external magnetic fields can increase the magnetic moment of these elements through the laying out of the non-compensated spins of paramagnetic elements.
2. The influence of liquid crystals in organisms as the components of biological membranes. Those may occur in nematic, cholesterol and smectic phases. Their change induces in consequence the change of biological properties, for example the permeability of membranes.
3. The displacement of moving electrical charges, as the consequence of the activity of the Lorentz force and Hall's effect. The outside magnetic fields influence the paths of moving charges (creating electrical current in the physical sense), inducing their deviations. That can activate the change of the information acquiring to effectors (particular organs) receiving the electrical charge as an information source.
4. The change of some parameters of the water filling external and intracellular spaces. These are: the crystallisation rate, the concentration of dissolving gases (*e.g.* oxygen), the pH changes, the rate of coagulation or the ability of moistening.
5. The influence on primal depolarisation of cells with their own automatics.
6. The activity of piezoelectric and magnetostrictive structures. The magnetostrictive effect can be defined as the change of biological structure changes in the magnetic fields. The group of piezoelectric structures in the human body consists of hydroxyapatite, collagen, dentine and ceratine.
7. The induction of the different potentials in electrolyte solutions. The low frequency magnetic fields induce the alternative voltage in the electrolyte structures of the body, cells and colloids.

Halla. Zewnętrzne pole magnetyczne może wpływać na tory poruszających się ładunków (tworzących w sensie fizycznym prąd elektryczny), wywołując ich odchylenia. Może zatem powodować zmianę informacji docierającej do efektorów (poszczególnych organów), odbierających ładunki elektryczne jako źródło informacji.

4. Zmiany niektórych parametrów wody wypełniającej przestrzenie zewnątrz- i wewnątrzkomórkowe. Wymienić tu można szybkość krystalizacji, stężenie rozpuszczonych gazów (przede wszystkim tlenu), zmianę wartości pH, szybkość osiadania i koagulacji czy zdolność zwilżania.
5. Wpływ na samoistną depolaryzację komórek posiadających własny automatyzm.
6. Oddziaływanie na struktury o właściwościach piezoelektrycznych i magnetostrykcyjnych. Efekt magnetostrykcji to zmiana kształtu struktur biologicznych pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Do substancji wykazujących piezoelektryczne właściwości generatorowe należą: hydroksyapatyt, kolagen, dentyna i keratyna.
7. Wyindukowanie różnic potencjałów w przestrzeni wypełnionej elektrolitem. Pod wpływem zmiennego pola magnetycznego w elektrolitycznych strukturach organizmu, komórkach i koloidach indukuje się zmienne napięcie. Proces ten szczególnie intensywnie zachodzi w układzie krążenia, układach limfatycznych, endokrynych, mięśniowym i nerwowym.

Oprócz badań działania ELF-MF na organizmy na poziomie molekularnym prowadzi się liczne badania, mające na celu poznanie efektów biologicznych tych pól. Prace te dotyczą poziomu komórkowego i tkankowego lub narządowego, w zależności od oczekiwanego efektu terapeutycznego.

Do najlepiej poznanych efektów należy pobudzający wpływ pola na procesy utylizacji tlenu i oddychania tkankowego. Odbywa się on przez pobudzenie procesu dyfuzji oraz wychwytu tlenu przez hemoglobinę, a także cytochromy, co powoduje wzrost wykorzystania tlenu i aktywizację oddychania tkankowego w narządach. Mechanizm ten stanowi bezpośredni dowód regeneracyjnego działania pola. Proces regeneracji w tkankach miękkich odbywa się przez pobudzenie syntezy kolagenu w fibroblastach (dzięki zmniejszeniu aktywności cykazy adenylowej i tym samym — stężenia cAMP), stabilizację błon komórkowych (dzięki zahamowaniu procesów peroksydacji lipidów), nasilenie oddychania beztlenowego oraz pobudzenie i przyspieszenie syntezy DNA, a tym samym, cykli komórkowych [4, 18, 19, 21]. W kościach pod wpływem ELF-MF nasilają się procesy regeneracyjne i naprawcze, jednak zjawiska te wiążą się bardziej z efektem piezoelektrycznym i wazodylatacją w tkance kostnej. Wzmocnienie zjawisk regeneracyjnych wykazuje również tkanka nerwowa [22].

Obok innych mechanizmów stymulujących procesy regeneracyjne wymienia się również działanie angiogenetyczne i wazodylatacyjne (pobudzenie rozwoju naczyń krwionośnych). Dzięki przyspieszeniu rozwoju krążenia obocznego pod wpływem ELF-MF tkanki wykazują lepszą

Nowe multiple studies are being conducted on the biological effects of ELF MF, apart from the studies on the molecular level. These studies are conducted on cell, tissue and organ level, depending on the expected therapeutic effect.

The inductive effects of magnetic fields on the utilisation of oxygen and tissue oxygenation are the best recognised. This comes through the stimulation of the diffusion process and cytochromes, which leads to the increase of oxygen utilisation and the activity of tissue respiration in organs. This mechanism is regarded as direct evidence of the regenerative activity of ELF MF. The regeneration process in soft tissues proceeds with the activation of collagen synthesis in fibroblasts (through the decrease of the adenylocyclase and cAMP), stabilisation of cellular membranes and the inhibition of lipid peroxydation, anaerobic respiration and the acceleration of DNA synthesis and cellular cycles [4, 18, 19, 21]. ELF MF increase the regeneration and repair processes in bones, but this activity is more connected with the piezoelectric effect and vasodilatation in bone tissue. The same effects are represented in nerve tissue [22].

Apart from the stimulation mechanisms of regeneration processes, angiogenesis and vasodilatation are mentioned. Accelerating the development of side circulation, the ELF MF intensify the blood perfusion in tissues, which leads to the increase of molecular oxygen pressure [16, 18, 23].

ELF MF in the therapeutic parameters have antiphlogistic, antisingling and analgetic activity. This leads to the modification of coagulation processes, the change of rheological parameters, the change in water and electrolyte supply and the modification of the pH of the solutions. Particular observations were made in assessing the influence of the ELF MF on the behavioural mechanisms in experimental animals and humans [16, 24, 25].

The following biophysical and biological effects are bases for the use of magnetic fields in the treatment of chronic wounds:

1. Usage of fields of therapeutic parameters exerts antiphlogistic, antiseptic and analgesic activities, which have positive influences on wound healing and the patient's frame of mind.
 2. ELF MF help to increase oxygen diffusion and haemoglobin oxygenation, which causes an intensification of oxygen utilisation processes and tissue oxygenation.
 3. External magnetic fields intensify anaerobic respiration, breaking the lipid peroxydation process chains, which leads to the disintegration of cellular membranes and respiratory enzymes.
 4. Collagen determines the mechanical properties of scars and is the foundation of their structure. It has piezoelectric generator properties, reacting to external field changes. ELF MF promote collagen synthesis, probably by suppression of cAMP level as a second messenger [16, 19, 21, 22, 24, 26].
- Pulsed magnetic fields also accelerate:
— angiogenesis and development of collateral circulation in damaged tissue;

perfuzję krwi i chłonki, a tym samym — zwiększenie ciśnienia cząsteczkowego tlenu [16, 18, 23].

Pole magnetyczne w zakresach terapeutycznych wykazuje działanie przeciwzapalne i przeciwobrzękowe oraz wyraźne działanie analgetyczne. Pod wpływem ELF-MF może dochodzić do modyfikacji procesów krzepnięcia i zmiany parametrów reologicznych krwi, a także do zmian w gospodarce wodno-elektrolitowej i kwasowo-zasadowej. Opisywano również wpływ na układ sercowo-naczyniowy oraz modyfikację metabolizmu tkankowego przez wpływ na czynność niektórych gruczołów wydzielania wewnętrznego. Szczegółowe obserwacje poczyniono także nad oceną oddziaływania ELF-MF na różne mechanizmy behawioralne u zwierząt eksperymentalnych i u ludzi [16, 24, 25].

U teoretycznych podstaw wykorzystania magnetoterapii w leczeniu ran skóry i tkanek miękkich leżą następujące zjawiska biofizyczne i efekty biologiczne:

1. Stosowanie pola magnetycznego o parametrach leczniczych wywiera działanie przeciwzapalne, przeciwbakteryjne i analgetyczne, co wpływa korzystnie na gojenie ran i samopoczucie pacjenta.
2. Pod wpływem ELF-MF dochodzi do wzrostu dyfuzji i utleniania hemoglobiny i cytochromów, co prowadzi do intensyfikacji procesów utylizacji tlenu i oddychania tkankowego.
3. Zewnętrzne pole magnetyczne nasila procesy oddychania beztlenowego, hamując procesy utleniania lipidów, prowadzące do destabilizacji błon komórkowych i enzymów oddechowych.
4. O właściwościach mechanicznych blizny stanowi kolagen, tworzący szkielet blizny. Charakteryzuje się on piezoelektrycznymi właściwościami generatorowymi, reagując na zmiany zewnętrznego pola magnetycznego. Wykazano, że w zmiennym polu magnetycznym dochodzi do wzrostu syntezy kolagenu, prawdopodobnie przez obniżanie aktywności cykazy adenylowej i spadku syntezy cAMP [16, 19, 21, 22, 24, 26].

Zmienne pola magnetyczne przyspieszają również:

- angiogenezę oraz rozwój krążenia obocznego w uszkodzonej tkance;
- przejście fazy fibrocytów w fibroblasty (komórki syntezujące kolagen);
- ukierunkowywanie rozrostu wiązek kolagenowych, zgodnie z przebiegiem linii sił pola magnetycznego;
- proces epitelizacji (naskórkowania) [16, 19, 21, 26].

Istnieje niewiele przeciwwskazań do stosowania magnetoterapii, jednak do bezwzględnych należą: aktywna gruźlica, infekcje przebiegające z wysoką gorączką, rozległe grzybice, ciąża, wszczepiony rozrusznik serca, cukrzyca młodzieńcza, czynne krwawienie z przewodu pokarmowego i nadczynność tarczycy. Należy wziąć również pod uwagę możliwość pobudzenia wzrostu komórek nowotworowych przez pole magnetyczne oraz zmiany w składzie żółci, usposabiające do rozwoju kamicy żółciowej [16, 17, 24].

Badania kliniczne i eksperymentalne wykazały korzystne działanie pól magnetycznych niskiej częstotliwości na proces gojenia się ran. Wskazanie do terapii polem ma-

- fibrocyte to fibroblast transformation;
- the steering of the growth of collagen bundles, according to the lines of the magnetic field;
- epithelialisation processes [16, 19, 21, 26].

There are not too many contraindications for magnetotherapy. There are: active tuberculosis, infections with high fever, mycosis, pregnancy, heart pacemaker, youth diabetes, active bleeding, hyperthyreosis. One can consider the possibility of the activation of neoplastic processes and the change in bile solution, leading to cholelithiasis [16, 17, 24].

Clinical and experimental data confirmed the positive activity of the ELF MF in wound healing. Indications for the application of ELF MF are particularly used in chronic wounds, such as:

- bedsores;
- venous leg ulcers;
- diabetic and arteriosclerotic leg and foot ulcers;
- chronic postoperative and posttraumatic wounds [23, 27–29].

Authors suggest the parameters depending on the indications. In chronic wounds one can use the lower frequencies — 5 to 12 Hz and 4 to 8 mT induction. Courses should be conducted daily (at the same time), from 5 to maximum 12 minutes [23, 30–32].

The acute and burn wounds should be treated with the higher frequencies (25–50 Hz) and 10 mT induction. One session should be longer, but should not exceed 60 minutes [10, 26, 33, 34].

The therapeutic parameters of magnetic fields are very often suggested by the constructors and producers of the equipment. These suggestions, however, are sometimes not too useful for physicians and the final choice of the therapeutic parameters must be the decision of the physician, following his practice and experience in the choice of therapeutic parameters [16, 24].

Magnetotherapy can be a useful and practical supplement in the treatment of chronic wounds with minimal contradictions. It can sometimes be the only supplement of basic surgical treatment leading to the final wound healing.

gnetycznym istnieje przede wszystkim w wypadku ran o charakterze przewlekłym, do których należą:

- odleżyny;
- owrzodzenia żylakowate podudzi;
- owrzodzenia miażdżycowe i cukrzycowe stóp oraz podudzi;
- długo niegojące się rany pooperacyjne i pourazowe [23, 27–29].

Autorzy proponują stosowanie pola o różnych parametrach w zależności od wskazań terapeutycznych. W wypadku ran przewlekłych prawdopodobnie korzystne jest użycie pola o niższych częstotliwościach w zakresie 5–12 Hz i indukcji 4–8 mT. Zabiegi powinno się wykonywać codziennie (najlepiej o tej samej porze), a czas ich trwania nie powinien przekraczać 12–15 minut [23, 30–32].

Rany ostre i oparzeniowe należy leczyć, stosując pola o nieco wyższej częstotliwości (25–50 Hz) i indukcji wynoszącej około 10 mT. Czas zabiegów również powinien być dłuższy, jednak nie może przekraczać 60 minut [10, 26, 33, 34].

Dobór parametrów leczniczych pola magnetycznego często sugerują producenci aparatów do magnetoterapii w załączonych instrukcjach. Oprócz wskazówek technicznych dotyczących użycia aparatów w odpowiednich schorzeniach doradzają oni dobór odpowiednich parametrów pola, czasu zabiegów oraz ich częstość. Jednak rady te nie zawsze idą w parze z doświadczeniem i własnymi obserwacjami lekarza. Ostateczny dobór wartości parametrów terapeutycznych należy więc tylko do lekarza, który nierzadko musi odejść od sztywnych wartości, proponowanych przez producenta, i dobrać te wartości indywidualnie w zależności od wskazań [16, 24].

Podsumowując, należy stwierdzić, że magnetoterapia może stanowić cenne uzupełnienie leczenia trudno gojących się ran. Wobec minimalnych przeciwwskazań do jej stosowania może być często jedynym uzupełnieniem klasycznego leczenia, prowadzącym do całkowitego zamknięcia się rany.

Piśmiennictwo (References)

- Dunphy J.E., Way L.W. (red.). Współczesne rozpoznawanie i leczenie w chirurgii. PZWL, Warszawa 1980: 112–125.
- Richardson J.D., Polk H.C., Flint L.M. (red.). Trauma: clinical care and pathophysiology. Year Book Medical Publishers INC, Chicago-London 1987: 213–259.
- Ashcroft G.S., Horan M.A., Ferguson M.W. The effects of ageing on cutaneous wound healing in mammals. *J. Anat.* 1995; 187: 1–26.
- Sicard R.E., Nguyen L.M., Witzke J.D. Mammalian wound repair environment does not permit skeletal muscle regeneration. *Wound Repair And Regeneration* 1997; 1 (5): 39–46.
- Skover G.R. Cellular and biochemical dynamics of wound repair. *Clin. Podiatric Med.-Surg.* 1991; 4 (8): 723–756.
- Arendt J. Gojenie ran. Przegląd Piśmiennictwa Chirurgicznego. Fundacja Polski Przegląd Chirurgiczny, Warszawa 1994.
- Jorgensen L.N., Kallehave F., Karlsmark T. Reduced collagen accumulation after major surgery. *Br. J. Surg.* 1996; 83: 1591–1594.
- Verhofstad M.H.J., Hendriks T. Diabetes impairs the development of early strength, but not the accumulation of collagen, during intestinal anastomotic healing in the rat. *Br. J. Surg.* 1994; 81: 1040–1045.
- Kłodowski K. Ocena wyników leczenia owrzodzeń troficznych podudzi. *Wiad. Lekar.* 1992; 45: 15–16.
- Pałka J., Wolańska M., Galewska Z. Proteolytic activity and collagen synthesis in skin wound of rats with experimental diabetes. *Medycyna* 2000 1991; 2: 39–43.
- Biniszkiwicz T. Ocena oddziaływania wolnozmennego pola magnetycznego i lasera małej mocy na doświadczalne oparzenia termiczne skóry szczurów. Rozprawa doktorska ŚIAM, Bytom 1997.
- Danielewicz R., Karczewska J.M. Gojenie się rany skórnej i surowicówkowej u szczurów z niewydolnością nerek. *Pol. Przegl. Chir.* 1994; 11: 1132–1136.
- Rykowski H. (red.). Choroby naczyń. PZWL, Warszawa 1990: 576–595.
- Cheng N. Biochemical effects of pulsed electromagnetic fields. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 1985; 14: 121–129.
- Łopaciński T. Pole magnetyczne. *Med.-Natur.* 1992; 1–2: 89–92.
- Sieroń A., Cieślak G., Adamek M. Magnetoterapia i laseroterapia niskoenergetyczna. ŚIAM, Katowice 1994.
- Sieroń A., Żmudziński J., Cieślak G. Problemy oddziaływania zewnętrznych pól magnetycznych na organizm ludzki. *Post.-Fiz.-Med.* 1989; 24 (2): 75–80.
- Warnke U. Grundlagen zu magnetisch induzierten physiologischen Effecten. *Terapiewoche* 1980; 20: 4609–4616.
- Farndale R.W., Murray J.C. The action of pulsed magnetic fields on cyclic AMP in cultured fibroblasts. *Biochimica et Biophysica Acta* 1986; 881: 46–53.
- Kula B., Drózd M., Sobczak A. Biologiczne skutki działania pól magnetycznych na żywe organizmy. *Ann. Acad. Med. Siles.* 1997; 32: 93–110.
- Murray J.C., Farndale R.W. Modulation of collagen production in cultured fibroblasts by a low-frequency, pulsed magnetic field. *Biochimica et Biophysica Acta* 1985; 838: 98–105.
- Rabinovitch E.Z., Garan J.P., Usaczewa M.D. Vlanije postoiannogo magnitogo pola czełowieka pri reperativnykh i destruktivnykh processach. *Biofizika* 1993; 28: 693–697.
- Sieroń A., Żmudziński J., Cieślak G. Leczenie owrzodzeń podudzi za pomocą zmiennego pola magnetycznego. *Przegl. Dermatol.* 1991; 78: 195–200.
- Straburzyńska-Lupa A., Straburzyński G. Niektóre zagadnienia związane ze stosowaniem w fizjoterapii pulsującego pola magnetycznego i laserowego promieniowania podczerwonego. *Baln. Pol.* 1992; 34: 1–23.
- Vodovnik L., Karba R. Treatment of chronic wounds by means and electromagnetic fields. *Med. Biol. Eng. Comp.* 1992; 30: 257–266.
- Glinka M. Ocena pierwotnego gojenia się ran ciętych skóry u szczurów poddanych oddziaływaniu wolnozmennych pól magnetycznych. Rozprawa doktorska ŚIAM, Zabrze 2000.
- Kasprzak W.P., Straburzyńska-Lupa A., Straburzyński G. Pulsujące pole magnetyczne skojarzone z promieniowaniem laserowym podczerwieni w leczeniu owrzodzeń żyłakowych podudzi. *Baln. Pol.* 1992; 34 (1/2): 68–74.
- Kasprzak W.P., Straburzyńska-Lupa A., Straburzyński G. Wyniki leczniczego stosowania pulsującego pola magnetycznego i laserowego promieniowania podczerwonego w zaburzeniach ukrwienia kończyn dolnych. *Baln. Pol.* 1992; 34 (1/2): 75–93.
- Sieroń A., Żmudziński J., Cieślak G. Wykorzystanie pola magnetycznego w leczeniu owrzodzenia podudzi. *Pol. Tyg. Lek.* 1991; 46: 37–39.
- Goldin J.H., Broadbent N.R.G., Nancarrow J.D. The effects of diapuls on the healing of wounds: a double-blind randomised controlled trial in man. *Br. J. Plast. Surg.* 1981; 34: 267–270.
- Jeran M., Zaffuto S., Moratti A. PEMF stimulation of skin ulcer of venous origin in humans: preliminary report of double blind study. *J. Bioelectr.* 1987; 6: 181–188.
- Ottani V., De-Pasquale V., Govoni P. Effects of pulsed extremely low frequency magnetic field on skin wounds in the rat. *Bioelectromagnetics* 1988; 9: 53–62.
- Gaiduk V.I., Skaczkova N.K., Feboravskaia E.A. Vliianie pieriemennogo magnitogo pola nizkoi czastoty na mikrofloru i zażyvlenie ożogovych ran. *Vest. Khir.* 1985; 134: 69–74.
- Patino O., Grana D., Bolgiani A. Pulsed electromagnetic fields in experimental cutaneous wound healing in rats. *J. Burn. Care Rehabil.* 1996; 6: 528–531.

Adres do korespondencji (Address for correspondence):

prof. dr hab. med. Aleksander Sieroń
Katedra i Oddział Kliniczny Chorób Wewnętrznych i Medycyny Fizykalnej
Śląskiej Akademii Medycznej
ul. Batorego 15
41–902 Bytom

Praca wpłynęła do Redakcji: 19.12.2002 r.