

Stymulacja rdzenia kręgowego w leczeniu bólu przewlekłego

Spinal cord stimulation in the treatment of chronic pain

Joanna Urbanowska¹, Marzena Chantsoulis^{1,2}, Anna Skrzek², Jarosław Sakowski¹, Tomasz Sipko³, Karol Całka⁴

¹ Kliniczny Oddział Neurochirurgii, 4 Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką we Wrocławiu, ul. R. Weigla 5, 53-114 Wrocław, tel. +48 (0) 71 766 02 76, e-mail: maszka@awf.wroc.pl

² Katedra Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, al. I. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

³ Katedra Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, al. I. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

⁴ Zakład Radiologii i Diagnostyki Obrazowej, 4 Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką we Wrocławiu, ul. R. Weigla 5, 53-114 Wrocław

Streszczenie

Jednym ze sposobów leczenia bólu przewlekłego jest procedura neuromodulacyjna – stymulacja rdzenia kręgowego (*spinal cord stimulation SCS*). Istnieje wiele teorii wyjaśniających mechanizm jej działania, ale nie jest on ostatecznie poznany. SCS stosuje się między innymi po operacjach neurochirurgicznych w zespołach *failed back surgery syndrome* i *post-laminectomy syndrome*. Wskazaniem do stymulacji rdzenia kręgowego jest ból neuropatyczny, który powstaje w wyniku ucisku nerwów (pleksopatie, radikulopatie). Elektrode umieszcza się w grzbietowej części przestrzeni nadtwardówkowej, na wysokości zależnej od miejsca występowania bólu. Najczęstsze miejsca implantacji generatora zlokalizowane są wzdłuż linii środkowo-pachowej, w górnej części pośladka, w linii pachowej tylnej i powłokach brzucha, tuż poniżej najniższego żebra.

Elektroda dodatnia – anoda – hamuje neurony poprzez hiperpolaryzację. Wykorzystując to działanie, programuje się urządzenie stymulujące. SCS jako metoda leczenia bólu przewlekłego daje pacjentom ulgę w bólu, a niektórym stwarza możliwość powrotu do pracy.

Słowa kluczowe: stymulacja rdzenia kręgowego, ból przewlekły,

Abstract

Neuromodulation is the procedure used for the spinal cord stimulation (SCS). There are many theories explaining its mechanism, however it has not been thoroughly studied. SCS is used e.g. after neurosurgical operations in failed back surgery syndrome as well as post-laminectomy syndrome. An indication for spinal cord stimulation is neuropathic pain occurring as a result of pressure on nerves. An electrode is placed within a dorsal part of the extradural space at the height dependent on the pain location. The most frequent site of generator implantation is located along the mid-axillary line, in the upper part of the buttock, in the posterior axillary line and the lining of the stomach just below the lowest rib.

The positive electrode – anode – suppresses neurons through hyperpolarization. SCS as a method of chronic pain treatment brings relief to patients, and in some cases it enables them to go back to work.

Key words: spinal cord stimulation – SCS, chronic back pain

Wprowadzenie

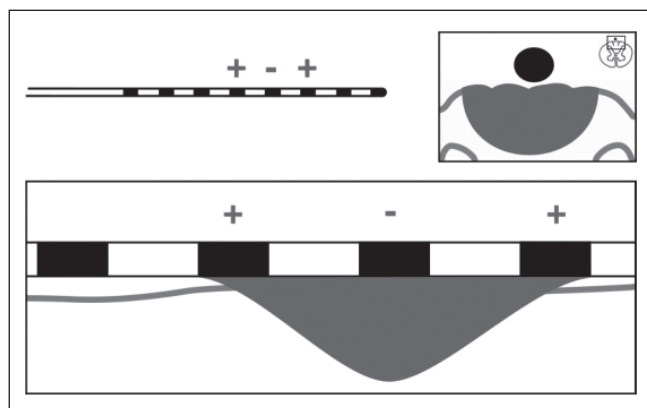
Ból – według definicji Międzynarodowego Towarzystwa Badania Bólu (IASP – International Association for the Study of Pain) – jest nieprzyjemnym przeżyciem zmysłowym i emocjonalnym, połączonym z aktualnym albo potencjalnym uszkodzeniem tkanki lub związanym z wyobrażeniem tego typu uszkodzenia. Ból przewlekły to ból o charakterze ciągłym, trwający nieprzerwanie, co najmniej trzy miesiące [1]. Dla wielu chorych staje się elementem życia codziennego, uzależnia od przyjmowania leków przeciwbólowych, zdarza się, że prowadzi do ich przedawkowania i groźnych w skutkach powikłań.

Jedną z metod leczenia bólu przewlekłego jest procedura neuromodulacyjna – stymulacja rdzenia kręgowego (*spinal cord stimulation – SCS*). Mechanizm jej działania nie jest do końca poznany. Pierwsze zastosowania kliniczne opierały się na bramkowej teorii bólu zaproponowanej przez Melzacka i Walla w 1965 r., która mówi o ośrodkowym hamowaniu bólu przez bodźce niewywołujące bólu [2]. Stymulacja włókien A-beta o dużej średnicy w kolumnach grzbietowych rdzenia pobudza neurony do aktywacji mechanizmu bramkowego, który hamuje odbiór bólu we włóknach o małej średnicy Aδ i C w rogach tylnych rdzenia. W oparciu o tę teorię w marcu 1967 r. amerykański neurochirurg Norman Shealy drogą laminektomii Th2-Th3 zaimplantował urządzenie stymulujące tylne kolumny rdzenia u 70-letniego chorego z zespołem bólowym w przebiegu raka płuca [3].

Mechanizmem wykorzystywanym w leczeniu dusznicy bolesnej i chorobie naczyń obwodowych jest zmniejszenie aktywności sympatykomimetycznej poprzez wpływ na mechanizmy ośrodkowe, które kontrolują układ współczulny i uwalnianie substancji działających na naczynia krwionośne, jak CGRP (*calcitonine gene-related peptide*) i substancja P. Utrzymywanie efektu analgetycznego po zakończonej stymulacji tłumaczy się uwalnianiem neurotransmiterów i substancji modulujących w rogach tylnych rdzenia, co wynika z aktywacji receptorów GABA B i powoduje hamowanie przewodzenia bólu oraz uwalnianie aminokwasów pobudzających, jak kwas glutaminowy i kwas asparaginowy [4].

Innym mechanizmem tłumaczącym działanie SCS jest segmentalna blokada transmisji neuronalnej bodźców bólowych, będąca wynikiem lokalnych zmian w rdzeniu kręgowym i neuronach nadrdzeniowych, które są odpowiedzialne za przewodzenie i modulację bólu [5].

Ze względu na akceptowany mechanizm działania poprzez kolumny tylne rdzenia kręgowego, technika znana była poprzednio jako stymulacja kolumn grzbietowych (*dorsal column stimulation*), następnie poprzez uproszczenie przyjęto



Rys. 1 Polaryzacja elektrod w stymulacji rdzenia kręgowego. Energia koncentruje się w okolicy katody (elektrody ujemnej), rozprzestrzenianie się energii blokowane jest przez anodę (elektrodę dodatnią)

Źródło: A Saint Jude Medical Company

powszechnie przyjętą nazwę: stymulacja rdzenia kręgowego – SCS [6].

Stymulacja elektryczna może pobudzać lub hamować aktywność neuronalną. Elektroda aktywną w systemie stymulacji rdzenia kręgowego jest elektroda ujemna – katoda, która depolaryzuje neurony w obszarze swojego działania, powodując ich wzmożoną aktywność. Elektroda dodatnia – anoda hamuje neurony poprzez hiperpolaryzację (rys. 1). W efekcie tego można uzyskać pożądane pokrycie parestezjami. Wykorzystując to działanie, programuje się urządzenia stymulujące [6].

Głównym wskazaniem do stymulacji rdzenia kręgowego jest ból neuropatyczny, który powstaje w wyniku ucisku nerwów (pleksopatie, radikulopatie), urazów, zmian niedokrwiennej, metabolicznych (np. neuropatia cukrzycowa) i poinfekcyjnych (np. neuropatia popółpaścowa) [7]. Stosuje się ją w zespołach CRPS typu I i CRPS typu II, po operacjach neurochirurgicznych w zespołach *failed back surgery syndrome* i *post-laminectomy syndrome* [7], a także w duszniczy bolesnej, stwardnieniu rozsianym, chorobie naczyń obwodowych, zapaleniu pajęczynówki, urazach spłotu barkowego, urazach rdzenia kręgowego (tabela 1) [8].

Lepszy efekt osiąga się w bólu przewlekłym niż wywołanym przez zmianę pozycji ciała lub przeciążenie. Zaleca się stosowanie stymulacji z wykorzystaniem niskiego natężenia, zaledwie nadprogowego do aktywacji włókien niskoprogowych o dużej średnicy kolumn grzbietowych rdzenia. Mrowienie wywołane przez stymulację rdzenia kręgowego powinno być wyczuwalne w ca-

Tabela 1 Skuteczność stymulacji rdzenia kręgowego w wybranych zespołach bólowych

Zespół bólowy	Skuteczność stymulacji rdzenia kręgowego
oporna dusznica bolesna	80-90%
FBSS/ból dolnej części pleców i kończyn dolnych	62%
choroba niedokrwienna kończyn dolnych	77%
CRPS typu I i typu II	84%
neuropatia obwodowa	67%
uraz rdzenia kręgowego	57%
neuralgia popółpaścowa	82%
ból fantomowy	62%
różne	57%

łym obszarze występowania bólu. Efekt przeciwbólowy uzyskuje się po 5-10 minutach od rozpoczęcia stymulacji i utrzymuje się około 1 do 3 godzin po jej zaprzestaniu [9]. Obliczono, że na świecie rocznie sprzedawanych jest około 12 tys. systemów stymulacji rdzenia kręgowego [8].

Do obszarów łatwo poddających się stymulacji należą: środkowa część ręki, ściana brzucha, przednia powierzchnia uda oraz stopa. Właściwe położenie elektrody w kanale kręgowym jest kluczem do osiągnięcia sukcesu w stymulacji [10].

Pionierskie prace Lawa i Millera pokazały, że obiektywne odnotowanie miejsca występowania parestezji i dokumentacja położenia elektrody są istotą poprawnej neurostymulacji [11, 12].

Wskazania i przeciwwskazania

Wskazaniem do zastosowania stymulacji rdzenia kręgowego jest: ból kończyn leczony co najmniej jedną operacją kręgosłupa, o czasie trwania co najmniej 6 miesięcy, brak przewlekłego lub nawracającego bólu powyżej dermatomu Th10, ból kończyn dolnych promieniujący poniżej kolan o większym nasileniu niż ból pleców, zgoda pacjenta, wyniki badań psychologicznych potwierdzające motywację pacjenta do powrotu do życia zawodowego, np. MMPI-II (*Minnesota Multiphasic Personality Inventory*) [6].

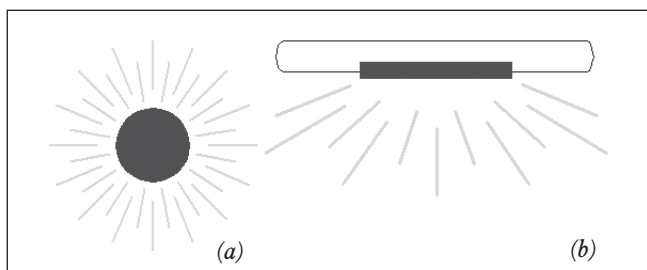
Kryteriami wykluczającymi implantację systemu do stymulacji kręgowego są: przebyta operacja w ciągu ostatnich 6 miesięcy, aktywna niszcząca choroba psychiczna, włączając chorobę dysocjacyjną, głównie chorobę afektywną z cechami psychotycznymi, aktywne nadużywanie leków lub alkoholu, zaburzenia osobowości wpływające na odczuwanie bólu, wiek poniżej 18 lat, chorzy, u których nie wykorzystano wszystkich metod leczenia zachowawczego i którzy nie uzyskali poprawy klinicznej podczas stymulacji próbnej lub systemowej. Ponadto, zastosowanie leczenia z wykorzystaniem SCS zdeterminowane jest również wynikiem indywidualnej konsultacji psychiatrycznej lub psychologicznej przed zabiegiem [6]. Zwykle stosuje się tydzień stymulacji próbnej, która pozwala na uniknięcie około 30% implantacji u chorych, u których stymulacja nie przyniosła efektu przeciwbólowego lub wywołała nieprzyjemne objawy [6].

Kryteria screeningu, które powinny być osiągnięte, to: minimum 50% (optymalnie przynajmniej 70%, referencyjnie 80%) redukcji bólu w oparciu o różnicę w skali wizualno-analogowej (VAS) przed i po implantacji elektrody, obszar objęty mrowieniem musi być zgodny z miejscem występowania bólu, brak odczuwania mrowienia jako nieprzyjemnego objawu. Poprawa czynnościowa oceniana jest zgodnie z kryteriami przyjętymi w danym ośrodku klinicznym, ale także wpływają na nią determinanty psychiczne każdego pacjenta.

W próbach udowodnienia bramkowej teorii bólu pierwsze techniki operacyjne wykorzystywały ułożenie elektrod bezpośrednio na rdzeniu kręgowym. Jednakże z powodu powikłań związanych z tym sposobem implantacji, utraty stymulacji z powodu włóknienia, wycieku płynu mózgowo-rdzeniowego, zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych i pogorszenia neurologicznego, obecnie elektrody układa się w przestrzeni nadtwardówkowej [6].

Stosowane są dwa typy stymulatorów, dostarczające stymulację o stałym natężeniu prądu (automatyczna regulacja stymulacji do zmiany impedancji – zgodnie z Prawem Ohma $V = I * R$ – zapewniająca stały poziom odczuwalnej stymulacji) i o stałym napięciu bez możliwości autoregulacji. System składa się z programatora pacjenta połączonego z czytnikiem oraz dwóch wszczepialnych elementów – elektrody i generatora impulsów.

Programator pacjenta umożliwia mu włączanie i wyłączenie urządzenia, wybór zaprogramowanych wcześniej przez lekarza programów stymulacji oraz zwiększenie lub zmniejszenie amplitudy. Programator komunikuje się z generatorem impulsów za pomocą czytnika, który chory umieszcza nad miejscem wszczepienia generatora z wykorzystaniem sygnałów o częstotliwości radiowej.



Rys. 2 Rozprzestrzenianie się energii przez elektrodę przezskórną (a) i chirurgiczną (b)

Źródło: A Saint Jude Medical Company

Wszczepialny generator impulsów zawiera baterię zamkniętą hermetycznie w tytanowej obudowie i odpowiednie obwody elektryczne przekazujące impuls do elektrod. Żywotność baterii zależy od poboru energii i czasu używania urządzenia. Nowoczesne generatory mają ładowalny akumulator. System wyposażony jest w magnes umożliwiający włączanie lub wyłączanie generatora.

Wyróżnia się dwa typy elektrod: przezskórne i chirurgiczne, które wprowadza się do przestrzeni nadoponowej drogą laminotomii lub laminotomii.

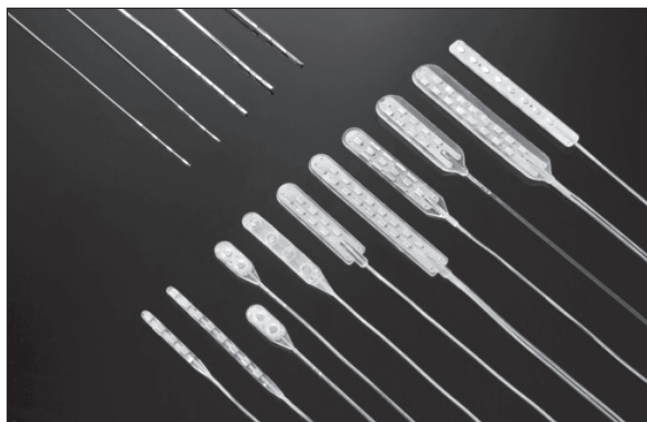
Dostępne na rynku elektrody przezskórne mają średnicę około 1,5 mm z liczbą styków od kilku do kilkunastu. Elektrody chirurgiczne mają kształt płytki o długości kilku centymetrów, szerokości od kilku do kilkunastu milimetrów, grubości około 2 mm.

Elektrody przezskórne mają cylindryczne punkty styku, tzw. kontakty, co powoduje, że energia rozprzestrzenia się wielokierunkowo, powodując również stymulację innych obszarów, a jej działanie jest mniej efektywne. Elektrody chirurgiczne z płaskimi kontaktami są bardziej efektywne (40%), gdyż rozprzestrzenianie się energii jest ukierunkowane (rys. 2).

Istnieją także elektrody pośrednie mające cechy elektrody przezskórnej i chirurgicznej, co pozwala na ich implantację drogą mniejszej laminotomii lub za pomocą specjalnej igły (fot. 1).

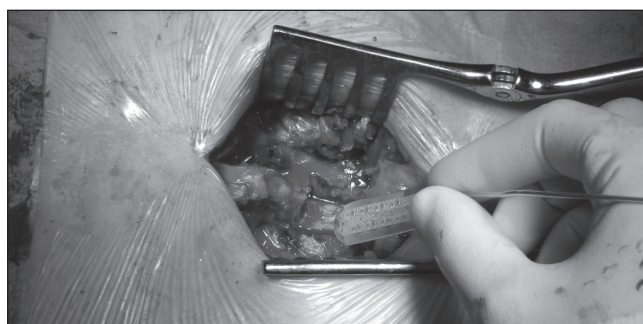
Elektrodę umieszcza się w grzbietowej części przestrzeni nadtwardówkowej pod kontrolą fluoroskopii na wysokości zależnej od miejsca występowania bólu. Przyjmuje się, że optymalnym miejscem ułożenia elektrody dla rwy kulszowej obejmującej dermatomy L5 i S1 są kręgi Th9-Th11, dla stopy-Th12-L1, dla podudzia-Th11-Th12, dla uda Th9-Th10, dla pośladków Th9, dla okolicy lędźwiowej Th8-11, dla okolicy przedsercowej Th1-Th2, dla kończyn górnych C4-Th1 (fot. 2) [13].

Każda elektroda składa się ze znajdujących się na dalszym końcu platynowo-irydowych punktów styku ułożonych w różnej konfiguracji, połączonych oddzielnie izolowanymi przewodami



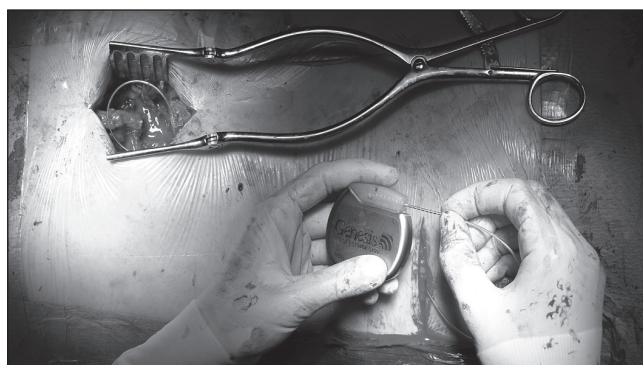
Fot. 1 Rodzaje elektrod stosowanych do stymulacji rdzenia kręgowego

Źródło: Dzięki uprzejmości A Saint Jude Medical Company



Fot. 2 Implantacja elektrody

Źródło: Opracowanie własne



Fot. 3 Implantacja generatora

Źródło: Opracowanie własne

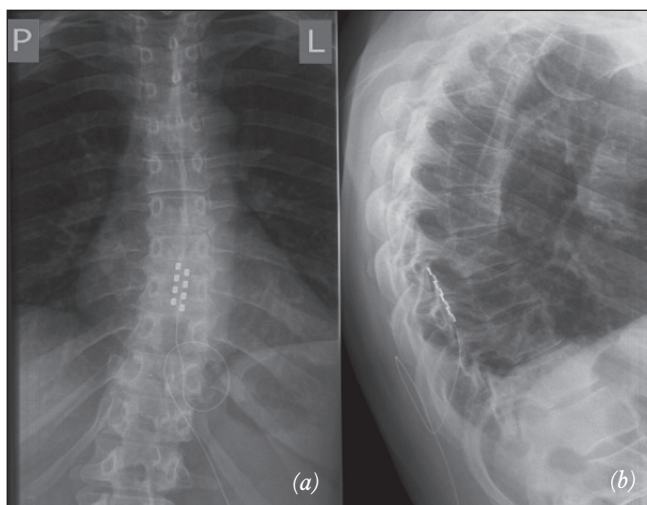
z punktami styku na końcu bliższym. Izolowane przewody są pokryte biokompatybilnym poliuretanem.

Po umieszczeniu elektrody na worku oponowym i przysyciu szwem niewchłanianym, łączy się ją z kablem do stymulacji próbnej i wykonuje test śródoperacyjny, który pozwala choremu określić poziom stymulacji i potwierdzić właściwe położenie elektrody. Konieczne jest umieszczenie pętli redukujących napięcia, o średnicy nie mniejszej niż 2,5 cm (1 cala), w celu zmniejszenia ewentualnych napięć, w miejscu połączenia elektrody/przedłużacza i w miejscu implantacji generatora. Ważne, by generator znajdował się w miejscu, do którego pacjent może swobodnie sięgnąć czytnikiem podczas programowania. Najczęstsze miejsca implantacji zlokalizowane są wzdłuż linii środkowo-pachowej, w górnej części pośladka, w linii pachowej tylnej (trzeba ominąć linię paska) i powłoki brzucha tuż poniżej najniższego żebra (fot. 3). Zalecane jest zaznaczenie miejsca generatora przed zabiegiem w pozycji siedzącej, by upewnić się, że ten obszar jest płaski.

Kieszka dla generatora powinna być wytworzona tak, aby leżała on równoległe do skóry i nie znajdował się głębiej niż 4 cm (1,5 cala) pod skórą. Jest to ważne dla zapewnienia komunikacji między generatorem a programatorem pacjenta.

Przeprowadzenie elektrody w tkance podskórnej od miejsca jej zakotwiczenia w przestrzeni nadoponowej do kieszeni generatora można wykonać w jednym lub dwóch etapach. Dla elektrody połączonej bezpośrednio z generatorem umieszczonym z boku lub z tyłu, tunelizację wykonuje się zwykle w jednym etapie. Jeśli stosowany jest przedłużacz lub kieszka generatora znajduje się na brzuchu, tunelizację wykonuje się w dwóch etapach. Nacięcie i potrzebną preparację wykonuje się w połowie odległości, a elektroda jest przeprowadzana do tego miejsca. Następnie krok ten powtarza się, przeprowadzając elektrodę do kieszeni generatora.

Elektrodę wsuwa się do gniazda łącznika generatora lub łącznika przedłużacza i dokręca za pomocą klucza dynamometrycznego, po czym umieszcza się generator w kieszeni podskórnej na głębokości nieprzekraczającej 4 cm (1,5 cala). Nadmiar elektrody lub przedłużacza zwiija się w duże pętle, nie mniejsze niż 2,5 cm



Fot. 4 Zdjęcie radiologiczne w projekcji przednio-tylnej (a) i bocznej (b) przedstawiające wszczepioną na wysokości trzonu Th9 ośmiokontaktową elektrodę przeszskórną Lamitrode 44C w bólu okolicy krzyżowej promieniującym do dolnej połowy pleców i obu kończyn dolnych

(1 cal) średnicy i umieszcza je za generatorem, co ma zmniejszyć ewentualne naprężenia. Położenie generatora w kieszeni powinno być oddalone od linii nacięcia skóry. Prawidłowo umieszczoną elektrodę przeszskórną obrazuje zdjęcie radiologiczne (fot. 4).

Dostępne na rynku systemy do stymulacji rdzenia kręgowego oferują urządzenia umożliwiające ustawienie wielu niezależnych programów, gdzie w jednym programie można zmienić wszystkie podstawowe parametry stymulacji. Programy są wybierane przez pacjenta w zależności od pozycji ciała i intensywności bólu (PC-Stim® – stymulacja kontrolowana przez pacjenta – Patient-Controlled Stimulation™). W jednym programie można ustawić do kilku podprogramów, które z różną intensywnością, lecz w tym samym czasie, będą stymulować wybrane segmenty rdzenia.

Podsumowanie

Powikłania związane ze stymulacją rdzenia kręgowego można podzielić na techniczne i biologiczne. Najczęściej notowanym powikłaniem technicznym jest przemieszczenie elektrody (13,2%) i jej złamanie (9,1%) oraz uszkodzenie generatora impulsów (2,9%) i baterii (1,6%). Wśród powikłań biologicznych najczęściej wymieniana się: infekcję (3,4%), wyciek płynu mózgowo-rdzeniowego (0,3%), ból wokół implantu (0,9%). Ponadto obserwuje się niepożądaną stymulację (2,4%), utratę połączenia elementów systemu (0,4%), krwiak (0,3%), reakcję alergiczną (0,1%), porażenie (0,03%), uszkodzenie skóry (0,2%), inne (1,4%) [8].

U osób ze wszczepionym systemem do stymulacji rdzenia kręgowego przeciwwskazane jest wykonywanie badania MR, ponieważ pole magnetyczne wytwarzane podczas badania rezonansem magnetycznym może spowodować przemieszczenie wszczepionych elementów, uszkodzenie układów elektronicznych, a także indukcję prądu w elektrodzie, która może być przyczyną wstrząsu lub porażenia. Obowiązuje również zakaz stosowania diatermii krótkofalowej, diatermii mikrofalowej i leczniczej diatermii ultradźwiękowej, ponieważ energia pochodząca z diatermii może zostać przekazana poprzez wszczepiony system i spowodować uszkodzenie tkanek w miejscu położenia elektrod, prowadząc do ciężkiego uszkodzenia lub zgonu, ponadto istnieje możliwość uszkodzenia elementów urządzenia.

Postępowanie fizjoterapeutyczne wprowadzone zostaje we wczesnym okresie pooperacyjnym i ma na celu przede wszystkim profilaktykę powikłań klinicznych. Od 6 do 8 tygodni po im-

plantacji urządzenia pacjenci są zobowiązani do unikania ruchów zginania kręgosłupa, rotacji oraz rozciągania (elongacji) tułowia, podnoszenia przedmiotów ważących ponad 2,5 kg ze względu na możliwość migracji elektrody, co prowadzi może do nieefektywnej stymulacji. Nagła zmiana pozycji ciała lub gwałtowny ruch może spowodować spadek lub wzrost odczuwanego poziomu stymulacji.

Stymulacja rdzenia kręgowego jako metoda leczenia bólu przewlekłego daje wielu chorym ulgę w bólu, a niektórym z nich stwarza możliwość powrotu do pracy. North i współpracownicy z Johns Hopkins Medical Center donoszą, że około 25% pacjentów z przewlekłym bólem pleców i kończyn dolnych z powodu operacji kręgosłupa lędźwiowego wraca do pracy po zastosowaniu stymulacji rdzenia kręgowego [14]. ■

Literatura

1. H.Ch. Diener: *Pojęcia związane z bólem*, [w:] H.Ch. Diener, Ch. Maier: *Leczenie bólu zespoły bólowe – metody postępowania*, Wyd. Urban&Partner, Wrocław 2005, s. 3-5.
2. R. Melzack, P.D.Wall: *Pain mechanisms: a new theory*, Science, vol. 150, 1965, s. 971-979.
3. N. Shealy, N. Taslitz, J.T. Mortimer, D.P. Becker: *Electrical inhibition of pain: experimental evaluation*, Anesth Analg, vol. 46(3), 1967, s. 299-305.
4. M.J. DeJongste: *Spinal cord stimulation for ischemic heart disease*, Neurol Res., vol. 22, 2000, s. 293-298.
5. S.J. Larson, A. Sances, D.H. Riegel i in.: *Neurophysiological effects of dorsal column stimulation in man and monkey*, J Neurosurg., vol. 41, 1974, s. 217-223.
6. J.C. Oakley: *Spinal cord stimulation for the treatment of chronic pain*, [w:] K.A. Follet (red.): *Neurosurgical pain management*, Elsevier, 2004, s. 131-143.
7. M. Ząbek, J. Sławek, M. Harat, W. Koszewski, G. Opala, A. Friedman: *Stymulacja mózgu i rdzenia kręgowego w leczeniu zaburzeń ruchowych oraz zespołów bólowych – podstawy teoretyczne i zalecenia praktyczne*, Neurol Neurochir Pol, vol. 40(1), 2006, s. 1-9.
8. T. Cameron: *Safety and efficacy of spinal cord stimulation for the treatment of chronic pain: a 20 year literature review*. J Neurosurg (Spine 3), 2004, 100, s. 254-267.
9. B. Lindenroth, B.A. Meyerson: *Spinal cord stimulation: mechanism of action*, [w:] K.J. Burchiel (red.): *Surgical management of pain*, Thieme, New York 2002, s. 505-526.
10. G. Barolat, F. Massaro, J. He, S. Zeme, B. Ketcik: *Mapping of sensory responses to epidural stimulation of the intraspinal neural structures in man*, J Neurosurg, vol. 78. 1993, s. 233-239.
11. J.D. Law: *Spinal stimulation: statistical superiority of monophasic stimulation of narrowly separated longitudinal bipoles having rostral cathodes*, Appl Neurophysiol, vol. 46, 1983, s. 129-137.
12. J.D. Law, L.V. Miller: *Importance of documentation of an epidural stimulating position*, Appl Neurophysiol, vol. 45, 1982, s. 461-464.
13. P. Sokal: *Leczenie operacyjne przewlekłych zespołów bólowych*, [w:] M. Harat (red.): *Neurochirurgia czynnościowa*, Drukarnia TOM, 2007, s. 103-126.
14. R.B. North, M.G. Ewend, M.T. Lawton, S. Piantadosi: *Spinal cord stimulation for chronic, intractable pain: Superiority of multichannel devices*, Pain, vol. 44, 1991, s. 119-130, 191.

otrzymano / received: 15.12.2009 r.
zaakceptowano / accepted: 20.02.2010 r.