

Spinal Cord Stimulation for Chronic Pain: A Literature Review

Kadek Adi Sagita Reka Baya¹, Muhammad Arismunandar²

¹ General Practitioner, University of Mataram, West Nusa Tenggara, Indonesia

² Department of Neurology, West Nusa Tenggara General Provincial Hospital, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/jk.v14i2.6650>

Article Info

Received : 15 April 2025

Revised : 25 May 2025

Accepted : 01 June 2025

Abstract

The high prevalence and significant impact of chronic pain on patients' quality of life is important as a major public health issue. The condition is particularly concerning due to the high proportion of chronic pain cases that are refractory to conventional treatment. Spinal cord stimulation (SCS) has emerged as an effective neuromodulation technique for patients with refractory chronic pain, demonstrating superior outcomes compared to pharmacological treatments, including in reducing opioid consumption. Patient selection is crucial for optimizing outcomes following SCS and various factors, including substance abuse, smoking, opioid use, and psychological distress, may adversely affect the success of the treatment. These complications can be classified into device-associated and biologically mediated complications. Despite these recognized risks, neuromodulation through SCS is considered a safe intervention, with a low risk of mortality.

Keywords: Chronic pain, Neuromodulation, Spinal cord stimulation.

Citation: Baya, K. A. S. R., Arismunandar, M. 2025. Spinal Cord Stimulation for Chronic Pain: A Literature Review. *Jurnal Kedokteran Unram*. DOI: Vol. 14 (2), 54-60. DOI: <https://doi.org/10.29303/jk.v14i2.6650>

Pendahuluan

Tingginya prevalensi pasien yang menderita nyeri kronis disertai dengan efek samping yang memengaruhi terhadap kualitas hidup pasien merupakan alasan mengapa nyeri kronis merupakan masalah yang cukup penting (Isagulyan et al., 2020). Diperkirakan 20% populasi menderita nyeri kronis terutama di negara berkembang dan khususnya di Amerika Serikat diperkirakan sekitar 8% populasi menderita nyeri kronis (Thomson et al., 2020) (Karri et al., 2020). Situasi ini menjadi semakin buruk dikarenakan tingginya insidensi nyeri kronis yang menjadi refrakter terhadap pengobatan konvensional (Isagulyan et al., 2020). Pasien yang gagal dengan pengobatan konservatif biasanya menjalani terapi opioid jangka panjang yang mana penggunaan opioid jangka panjang dikaitkan dengan peningkatan risiko kecanduan dan overdosis (Hofmeister et al., 2020). Selain

itu, data menunjukkan bahwa pengobatan dengan opioid terbilang tidak efektif dan cukup memberatkan dengan berbagai efek samping yang bervariasi dari yang ringan hingga kematian (Karri et al., 2020). Sebagai contoh, resistensi obat pada kasus nyeri kronis neuropati setelah kejadian cedera medula spinalis bisa mencapai 96% (Isagulyan et al., 2020).

Sejak ditemukannya neuromodulasi dengan stimulasi medula spinalis atau *spinal cord stimulation* (SCS), pengobatan nyeri kronis yang refrakter terhadap pengobatan terbilang memiliki efikasi yang baik (Karri et al., 2020). Berdasarkan beberapa penelitian RCT sebelumnya, SCS diketahui dapat dilakukan pada beberapa pasien nyeri kronis diantaranya nyeri neuropati oleh karena penyakit diabetes, *low back pain*, nyeri yang persisten setelah sebelumnya menjalani prosedur pembedahan pada tulang belakang, *postherpetic neuralgia*, dan pasien dengan sindrom nyeri

Email: sagitarekabaya123@gmail.com (*Corresponding Author)

Copyright © (2025), The Author(s).

This article is distributed under a [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

kronis lainnya (Thompson et al., 2020) (Rupp et al., 2022). Studi lainnya juga menunjukkan bahwa SCS memiliki keunggulan dibandingkan pengobatan komprehensif dengan medikamentosa dalam memberikan efek analgesia, meningkatkan outcome pasien, dan dapat menurunkan konsumsi opioid yang pasien gunakan (Karri et al., 2020).

Outcome SCS pada pasien nyeri kronis dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti penyalahgunaan zat, merokok, adanya masalah kesehatan mental, dan tekanan psikologis. Sehingga karenanya pentingnya pendekatan secara multidisiplin antara aspek klinis dan faktor psikososial menentukan kelayakan pasien (Thompson et al., 2020).

Metode

Studi ini merupakan narrative literature review yang bertujuan membahas dan merangkum penggunaan SCS dalam penatalaksanaan nyeri kronik. Pencarian literatur dilakukan melalui database Pubmed, Google Scholar dan ScienceDirect dengan rentang publikasi selama 10 tahun yakni dari tahun 2015 – 2025. Kata kunci yang digunakan meliputi: (“spinal cord stimulation” OR “SCS”) AND (“chronic pain OR refractory pain”). Kriteria inklusi meliputi artikel berbahasa inggris, teks lengkap, dan dipublikasikan di jurnal peer-reviewed, yang membahas SCS pada nyeri kronik. Artikel berupa grey literature, dan studi yang tidak relevan diekskusi. Penilaian kualitas studi tidak dilakukan secara formal, namun studi dipilih berdasarkan relevansi, kejelasan metodologi, dan publikasi dalam jurnal bereputasi. Studi dengan desain kuat seperti RCT dan systematic review diberikan prioritas dalam pembahasan.

Pembahasan

Definisi SCS

Spinal Cord Stimulation (SCS) atau yang sebelumnya dikenal sebagai *dorsal column stimulation*, merupakan suatu perangkat yang dipasang pada bagian punggung yang mana menghasilkan aliran listrik dan mengirimkannya ke medula spinalis melalui elektroda di ruang epidural posterior. Prosedur ini dapat dilakukan dengan laminektomi atau secara percutaneous (Aryal et al., 2021). Perangkat ini diketahui pertama kali terpasang pada tahun 2017 dan sejak saat itu, prosedur SCS menjadi prosedur bedah paling umum di seluruh dunia untuk mengobati nyeri kronis dan menggantikan prosedur yang bersifat destruktif dan ablasi (Isagulyan et al., 2020).

Sebelum pemasangan perangkat secara permanen, pasien menjalani periode uji coba untuk menentukan efektifitas pengobatan. Kriteria keberhasilan dalam uji coba ini ialah jika didapatkan pengurangan nyeri minimal 50% (Traeger et al., 2023).

Mekanisme Kerja SCS

Pada tahun 1965, sebuah teori ilmiah yang diterbitkan oleh Melzack dan Wall, menjelaskan bahwa cornu dorsalis merupakan pintu masuk pensinyalan nyeri dan berperan dalam mengatur rasa nyeri. Teori tersebut menjelaskan bahwa gerbang atau *gate* akan teraktivasi ketika terjadi aktivasi serabut tipis ($A\delta$ dan C) oleh stimulus berbahaya yang menimbulkan persepsi nyeri, sedangkan jika terjadi aktivasi pada serabut somatosensorik yang berdiameter besar ($A-\beta$) menyebabkan inhibisi transmisi sinyal nyeri (Aryal et al., 2021).

Stimulasi listrik pada medula spinalis secara umum dibagi menjadi 3 kelompok bergantung pada lokasi anatomi yang akan ditargetkan untuk dihilangkan rasa sakitnya: a) perifer, distal dari ganglion radix dorsalis; b) *spinal cord*, ganglion radix dorsalis; dan c) struktur supraspinal. Teknik terbaru yang tersedia melibatkan penyisipan elektroda secara perkutan ke dalam ruang epidural menggunakan jarum *Tuohy* yang dimodifikasi dibawah panduan pencitraan dan efek analgesia dimediasi oleh *gamma aminobutyric acid* (GABA) (Aryal et al., 2021).

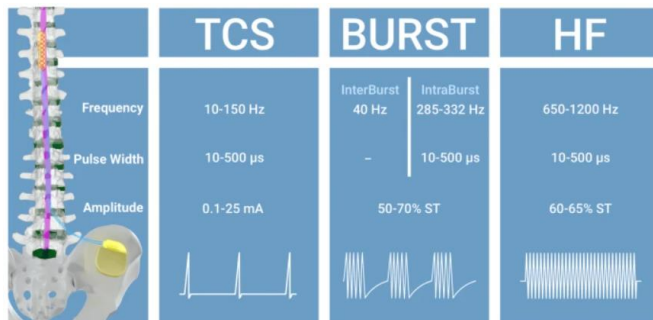
SCS sebagian besar dipasang saat menjalani prosedur laminektomi atau laminotomi dengan 4 hingga 16 elektroda dipasang dan ditempatkan di ruang epidural untuk menstimulus traktus kolumna dorsalis medula spinalis. Aktivasi ini menyebabkan terjadinya depolarisasi serat aferen primer yang karenanya menimbulkan inhibisi pada kornu dorsalis. Neuron pada *dorsal root ganglion* (DRG) atau ganglion radix dorsalis bersifat pseudounipolar dan terletak di lateral ruang epidural. DRG berisi sel neuron sensorik yang berperan dalam mengendalikan rasa sakit. implantasi sadapan untuk stimulus DRG melibatkan penempatan sadapan ke dalam foramen saraf dekan dengan DRG. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa stimulasi pada supraspinal juga terbilang efektif (Aryal et al., 2021).

Teknik Stimulasi

Secara umum ada 3 macam teknik stimulasi yang dapat dilakukan melalui prosedur SCS diantaranya: *tonic conventional stimulation* (TCS), *burst stimulation*, dan *high frequency* (HF) *stimulation*.

1. TCS: frekuensi yang digunakan 10 – 100Hz, dengan *pulse width* 10 -500 μ s, amplitud 0,1 – 25mA. Meningkatkan aktivitas neuron di nucleus gracilis dan menyebabkan parestesia
2. *Burst Stimulation*; frekuensi yang digunakan 40Hz, *pulse width* 10 -500 μ s, amplitud 50 – 70% ambang sensitive. Lebih efektif untuk nyeri neuropatik radikulopati dan tanpa efek samping parestesia.

3. HF stimulation: frekuensi 500 Hz – 10 kHz, pulse width 10 -500 μ s, amplitude 60 – 65% ambang sensitif. Efektif untuk nyeri punggung aksial dan tanpa adanya efek samping parestesia (Billot et al., 2020)



Gambar 1. Teknik stimulasi SCS (Billot et al., 2020).

Indikasi dan Kontraindikasi

Saat ini, the Food and Drug Administration (FDA) telah menyetujui bahwa SCS dapat digunakan dalam manajemen pasien nyeri kronik baik unilateral dan bilateral yang berkaitan dengan *failed back surgery syndrome* (FBSS), *Complex regional pain syndrome* (CRPS) tipe I dan II, serta nyeri neuropati (Rock et al., 2019). seleksi pasien sangat penting dalam efektifitas pengobatan. Sebagai contoh, SCS sering dilakukan pada pasien dengan nyeri nosiseptif, dimana berdasarkan studi menunjukkan bahwa SCS kurang bermanfaat pada pasien nyeri nosiseptif. Kontraindikasi lainnya seperti pasien dengan gangguan perdarahan, sepsis baik lokal ataupun sistemik, pasien dengan gangguan psikiatri (gangguan psikotik, gangguan depresi berat, penyalahgunaan zat dan alkohol, gangguan somatisasi). Lebih dari 80% pasien perlu menjalani konseling sebelum dilakukan terapi SCS. Selain itu ada juga kontraindikasi relatif diantaranya pasien dengan autoimun, riwayat pemasangan *cardiac pacemaker*, dan pemasangan implant defibrillator. Wanita hamil dan pasien dengan nyeri yang tidak konsisten dan patologis juga dapat dimasukkan sebagai daftar kontraindikasi (Aryal et al., 2021).

Rekomendasi menyarankan SCS dapat diberikan pada nyeri yang sifatnya refrakter. Adapun kriteria nyeri refrakter adalah:

1. Telah melakukan percobaan pengobatan dengan minimal 4 obat yang efektif untuk nyeri neuropatik
2. Setiap obat harus telah dikonsumsi minimal 3 bulan atau hingga munculnya efek samping yang mencegah tercapainya dosis adekuat dan pengobatan berkelanjutan.

3. Dengan pengobatan, intensitas nyeri tidak berkurang lebih dari 30% atau tetap dengan VAS minimal 5 dari skala 0 – 10.
4. Nyeri tersebut secara signifikan memengaruhi kualitas hidup.

Failed Back Surgery Syndrome (FBSS)

FBSS ialah kondisi dimana pasien mengalami *low back pain* (LBP) kembali setelah dilakukannya prosedur pembedahan. Diperkirakan sekitar 10-30% pasien mengalami LBP paska operasi, dan diketahui SCS telah berhasil mengatasi nyeri pada kasus ini dengan morbiditas yang rendah dibandingkan dengan dilakukannya operasi kembali (Rock et al., 2019). berdasarkan serial kasus pada penelitian sebelumnya, angka keberhasilan terapi SCS pada pasien FBSS yakni sekitar 53% - 60% selama 2,2 tahun dan 47% - 54% selama 5 tahun. Vu dkk (2022) melakukan studi analisis besar yang melibatkan lebih dari 500.000 pasien FBSS yang menjalani SCS dibandingkan dengan manajemen medikamentosa. Mereka melaporkan bahwa pasien dalam kelompok SCS memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk tidak menggunakan opioid, baik pada kelompok yang belum pernah menggunakan opioid sebelumnya (opioid-naive) ($p = 0,001$) maupun pada kelompok pengguna opioid kronis ($p = 0,02$), dengan hasil yang signifikan secara statistik pada 12 bulan. Studi yang dilakukan pada 8500 pasien yang menjalani SCS dimana 46,4% pasien terdiagnosis FBSS, menunjukkan bahwa dalam satu tahun terdapat penurunan penggunaan opioid pada 34,2% pasien dan sepenuhnya berhenti pada 17% (Adil et al., 2020).

Complex Regional Pain Syndrome (CRPS)

CRPS merupakan suatu bentuk nyeri kronis, biasanya hanya memengaruhi satu ekstremitas dan umumnya terjadi akibat suatu cedera atau operasi sebelumnya. Pasien dengan CRPS mengeluhkan nyeri seperti rasa terbakar yang sangat hebat. berdasarkan klasifikasi Budapest, pasien dengan CRPS memiliki ambang nyeri yang lebih rendah terhadap rangsangan panas/dingin. Adapun kriteria diagnosis lainnya meliputi: 1) hyperesthesia, 2) Alodinia, 3) Asimetri suhu, 4) Perubahan warna kulit, 5) Edema, 6) terbatasnya *range of movement* (ROM), dan 7) perubahan trofik (Rock et al., 2019). Studi RCT yang dilakukan pada 29 pasien CRPS menunjukkan bahwa terdapat penurunan signifikan VAS skor sebesar 50% setelah mendapatkan terapi SCS (Kriek et al., 2017). Dalam *systematic review* yang telah dilakukan oleh Mattie (2024), melaporkan bahwa dari enam studi, empat diantaranya melaporkan efek positif dari SCS dalam hal menurunkan intensitas nyeri atau meningkatkan kualitas hidup pasien CRPS.

Refractory Angina Pectoris (RAP)

RAP merupakan nyeri yang umumnya disebabkan oleh penyakit arteri koroner dan tidak berespon terhadap pengobatan antianginal. Pasien mengeluhkan pengalaman episode nyeri seperti tertimpa benda berat di daerah dada. SCS telah menjadi pengobatan pada nyeri angina ketika pengobatan dengan medikamentosa dirasa tidak berhasil. Beberapa Studi RCT yang dilakukan menunjukkan bahwa pasien menunjukkan performa yang meningkat saat dilakukan pengujian treadmill dan penurunan jumlah konsumsi nitrat pada pasien yang menjalani SCS (Rock et al., 2019). Menurut Mannheimer dkk, bahwa ketika SCS dibandingkan dengan *coronary artery bypass grafting* (CABG) untuk pengobatan RAP, pasien yang menjalankan CABG memiliki performa yang lebih baik saat dilakukan uji toleransi, namun kedua grup baik SCS dan CABG secara signifikan mengurangi keluhan nyeri dada pasien dan tidak didapatkan perbedaan antar keduanya.

Painful Diabetic Neuropathy (PDN)

Diabetes melitus (DM) merupakan suatu penyakit yang memengaruhi kualitas hidup pasien dengan insidensi yang meningkat tiap tahunnya. PDN umumnya terjadi pada orang DM sekitar 1 per 3 hingga 1 per 2 dengan manifestasi klinis nyeri pada daerah distal, simetris, disertai dengan sensasi kesemutan atau rasa terbakar (Strand, 2022). Studi menunjukkan bahwa SCS memengaruhi outcome disertai dengan efikasi jangka panjang yang baik pada pasien PDN dibandingkan dengan manajemen konvensional. SCS secara signifikan dapat mengurangi intensitas nyeri dan meningkatkan kualitas hidup pasien PDN (Isagulyan et al., 2020).

Chronic lower back pain (CLBP)

Chronic lower back pain (CLBP) ialah penyakit yang memengaruhi hampir sebagian aspek individu dan secara global merupakan penyebab utama disabilitas dan kualitas hidup yang buruk. Dalam mengatasi pasien CLBP non-surgical, diperlukan perbaikan opsi pengobatan untuk meningkatkan kualitas hidup pasien. SCS diketahui dapat menjadi pilihan pengobatan. Terapi SCS dengan 10kHz diketahui efektif dalam mengurangi nyeri punggung dan kaki yang bersifat kronis (Amirdelfan et al., 2018). Studi melaporkan, secara keseluruhan pasien CLBP mengalami pengurangan nyeri sebesar 80% setelah 1 bulan dilakukan SCS. Ada juga yang menyebutkan bahwa terjadi penurunan VAS score dari rata-rata 7.8 turun menjadi 2.5 setelah 19 bulan pengamatan dengan persentase penurunan nyeri sebesar $70 \pm 24\%$ (De Carolis et al., 2017). Efikasi lainnya dalam suatu studi menunjukkan bahwa 88% pasien tidak menggunakan

opioid setelah menggunakan SCS, sehingga dapat meminimalisir efek samping sistemik yang ditimbulkan dari opioid. Selain itu SCS terbukti lebih efektif dengan biaya lebih efisien dibandingkan pengobatan melalui pembedahan (Amirdelfan et al., 2018).

Manajemen Pasien

Perawatan pasien perlu dipertimbangkan saat akan menjalani pemasangan SCS yang sifatnya permanen untuk meningkatkan outcome dan keamanan yang baik. Beberapa penelitian dan guideline mengatakan, faktor penting untuk mengidentifikasi perawatan pasien diantaranya: risiko perdarahan, kontrol infeksi, pengurangan konsumsi opioid (Karri et al., 2020).

Risiko Perdarahan

Risiko perdarahan tidak dapat dihindari dalam setiap prosedur pembedahan. SCS dikategorikan sebagai prosedur yang cukup berisiko oleh pedoman NACC (Kin et al., 2018) (North et al., 2019). Kasus perdarahan atau pembentukan hematoma jarang dilaporkan, akan tetapi hal ini penting untuk mencegah terjadinya komplikasi (Hayek, 2015). Adapun faktor risiko perdarahan bisa terjadi baik karena fisiologis seperti pasien dengan gangguan perdarahan, penyakit hepar dan ginjal atau bisa juga karena faktor iatrogenik seperti pasien yang memiliki riwayat mengonsumsi antikoagulan atau antiplatelet. Adapun pedoman dalam pengelolaan risiko yakni penghentian sementara obat antikoagulan/anti platelet jika indikasi memungkinkan. Warfarin dapat dihentikan 5 hari sebelum prosedur pemasangan dilakukan dengan syarat INR normal. Aspirin dapat dihentikan 6 hari sebelum prosedur (profilaksis primer) (Narouze et al., 2018).

Kontrol Infeksi

Pengendalian infeksi sangat perlu dipertimbangkan baik selama perawatan perioperatif hingga postoperatif. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan sebelum dilakukan operasi diantaranya: 1) evaluasi faktor risiko infeksi (diabetes, merokok, dan penggunaan steroid), 2) optimalkan status gizi dan kontrol gula darah, 3) lakukan skrining *Methicillin-Resistant Staphylococcus Aureus* (MRSA), 4) pemberian antibiotik profilaksis (cefazolin, klindamisin atau vankomisin) 30 - 120 menit sebelum prosedur. Selama operasi, pastikan pengendalian infeksi yang ketat dengan memperhatikan sterilitas dan setelah operasi pastikan untuk memantau adanya tanda - tanda infeksi (demam, nyeri, dan pembengkakan), berikan antibiotik selama 24 jam pasca operasi dan lakukan monitoring ketat untuk mendeteksi adanya infeksi dini (Karri et al., 2020). Risiko infeksi diketahui meningkat apabila periode uji coba berlangsung lebih dari 10 hari dan

beberapa pasien dengan komorbiditas seperti diabetes melitus dan penyakit limfoproliferatif memiliki risiko infeksi yang lebih tinggi (De Negri *et al.*, 2023) (North *et al.*, 2020).

Opioid

Pengurangan konsumsi opioid sangat penting dilakukan dalam manajemen pasien dengan SCS. Sebelum dan setelah prosedur pemasangan SCS, pengurangan opioid dalam membantu optimalkan program SCS, mengurangi efek samping opioid dan berperan dalam menentukan keberhasilan SCS serta dosis opioid dalam hal ini morfin jika $\geq 22,6$ mg/hari dapat meningkatkan risiko kegagalan prosedur SCS. Adapun pedoman yang dapat dilakukan yakni diantaranya: 1) kurangi opioid secara bertahap sebelum operasi, 2) pantau efek samping opioid, 3) atur dosis optimal, 4) pertimbangkan alternatif pengobatan nyeri (karri *et al.*, 2020).

Komplikasi dan Efek Samping

Dengan kemajuan terkini dalam prosedur SCS, seperti parameter skrining untuk seleksi pasien dan implementasi gelombang baru, penelitian juga meningkat dalam mengatasi komplikasi spesifik terkait. Pemahaman menyeluruh tidak hanya meningkatkan pemahaman tentang faktor risiko yang terlibat tetapi juga menjaga efikasi dan keamanan yang terkait dengan impiantasi SCS. Bukti terkini menunjukkan insidensi komplikasi sekitar 30-40%. Komplikasi ini dikaitkan dengan komplikasi perangkat keras dan dari sisi biologis (Karri *et al.*, 2020).

Komplikasi perangkat keras

Komplikasi ini merupakan terbanyak yang dikaitkan dengan pemasangan SCS. Adapun diantaranya seperti terjadinya perpindahan atau migrasi elektroda, perangkat yang patah, gagalnya perangkat dalam menstimulasi, dan kehilangan sensasi parestesia. Migrasi elektroda merupakan komplikasi paling umum berkisar 11,3% hingga 13,2%. Hal ini terjadi dikarenakan teknik pemasangan yang kurang baik serta gerakan pasien yang berlebihan. Patahnya perangkat cukup bervariasi dari 5,9% hingga 9,5% (Karri *et al.*, 2020).

Komplikasi Neurologi

Komplikasi neurologi yang paling signifikan melibatkan struktur neuroaxial dalam hal ini kolumna spinalis dan *dural space*. Kompresi medula spinalis dapat terjadi jika pembuluh darah tertusuk yang mana hal ini dapat mengalibatkan kelemahan yang terjadi secara mendadak. Komplikasi ini sangat jarang terjadi dengan risiko diperkirakan sekitar 0,3%. Abses pada kanal spinal juga merupakan kondisi kegawatdaruratan

neurologis yang memerlukan perhatian segera dengan insidensi yang cukup jarang terjadi hanya ditemukan sekita 1 dari 1000 kasus. Kesalahan dalam penempatan elektroda yang tidak disengaja juga dapat terjadi, dimana dapat menyebabkan kebocoran cairan serebrospinal dengan insidensi cukup bervariasi. Adapun gejala yang meliputi seperti sakit kepala, rasa tidak nyaman pada leher, diplopia, dan fotofobia.

Komplikasi yang paling berat ialah cedera neurologis akibat trauma langsung medula spinalis oleh jarum atau elektroda. Namun komplikasi ini terbilang minimal sekitar 0,58% (Karri *et al.*, 2020).

Komplikasi lainnya

Infeksi pada jaringan lunak dan lokasi tempat operasi merupakan komplikasi yang umum dengan insidensi berkisar 4% hingga 10%. Beberapa faktor risiko diantaranya seperti obesitas, merokok, malnutrisi, penggunaan kortikosteroid, gangguan pasase usus, dan ulkus decubitus (Eldabe, 2015). Lokasi infeksi terbanyak ditemukan pada kantong generator, kemudian di elektroda, dan dilokasi penusukan (regio lumbar) (Karri *et al.*, 2020).

Kesimpulan

Neuromodulasi dengan SCS telah terbukti efektif mengobati berbagai kondisi nyeri kronis. Umumnya dapat digunakan untuk mengobati FBSS, CRPS, dan nyeri neuropati. Adapun faktor kunci keberhasilan SCS diantaranya seperti seleksi pasien yang cermat baik dari segi indikasi dan kontraindikasi pasien, pemahaman menyeluruh tentang efikasi SCS, pemilihan teknik stimulasi dan intervensi yang tepat, serta pertimbangan parameter peri-prosedur dan risiko komplikasi. Dengan memperbaiki faktor-faktor tersebut, SCS dapat menjadi pengobatan yang efektif dan aman untuk pasien dengan kondisi nyeri kronis. Selain itu modalitas SCS juga semakin canggih karena kemampuannya dalam menghilangkan nyeri tanpa menimbulkan efek samping parestesia.

Referensi

- Adil, Syed M BS; Charalambous, Lefko T BS; Spears, Charis A BA; Kiyani, Musa MD; Hodges, Sarah E BA; Yang, Zidanyue MB; Lee, Hui-Jie PhD; Rahimpour, Shervin MD; Parente, Beth PA-C; Greene, Kathryn A MPP; McClellan, Mark MD, PhD; Lad, Shivanand P MD, PhD. Impact of Spinal Cord Stimulation on Opioid Dose Reduction: A Nationwide Analysis. *Neurosurgery* 88(1):p 193-201, January 2021. | DOI: 10.1093/neuros/nyaa353
- Amirdelfan K, Yu C, Doust MW, Gliner BE, Morgan DM, Kapural L, Vallejo R, Sitzman BT, Yearwood TL,

- Bundschu R, Yang T, Benyamin R, Burgher AH, Brooks ES, Powell AA, Subbaroyan J. Long-term quality of life improvement for chronic intractable back and leg pain patients using spinal cord stimulation: 12-month results from the SENZA-RCT. *Qual Life Res.* 2018 Aug;27(8):2035-2044. doi: 10.1007/s11136-018-1890-8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29858746/>
- Aryal V, Poudel S, Zulfiqar F, Shrestha T, Singh A, Shah SA, Soomro U, Choudhari J, Quinonez J, Ruxmohan S, Amra A, Albert T, Kemmerlin J, Stein J. Updates on the Role of Spinal Cord Stimulation in the Management of Non-Surgical Chronic Lower Back Pain. *Cureus.* 2021 Oct:e18928. doi: 10.7759/cureus.18928. available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8603867/>
- Billot M, Naiditch N, Brandet C, Lorgeoux B, Baron S, Ounajim A, Roulaud M, Roy-Moreau A, de Montgazon G, Charrier E, Misbert L, Maillard B, Vendeuvre T, Rigoard P. Comparison of conventional, burst and high-frequency spinal cord stimulation on pain relief in refractory failed back surgery syndrome patients: study protocol for a prospective randomized double-blinded cross-over trial (MULTIWAVE study). *Trials.* 2020 Aug 3;21(1):696. doi: 10.1186/s13063-020-04587-6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32746899/>
- De Carolis G, Paroli M, Tollapi L, Doust MW, Burgher AH, Yu C, Yang T, Morgan DM, Amirdelfan K, Kapural L, Sitzman BT, Bundschu R, Vallejo R, Benyamin RM, Yearwood TL, Gliner BE, Powell AA, Bradley K. Paresthesia-Independence: An Assessment of Technical Factors Related to 10 kHz Paresthesia-Free Spinal Cord Stimulation. *Pain Physician.* 2017 May;20(4):331-341. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28535555/>
- De Negri P, Paz-Solis JF, Rigoard P, Raoul S, Kallewaard JW, Gulve A, et al. Real-world outcomes of single-stage spinal cord stimulation in chronic pain patients: A multicentre, European case series. *Interv Pain Med.* 2023;2(3).
- Eldabe S, Buchser E, Duarte RV. Complications of spinal cord stimulation and peripheral nerve stimulation techniques; A review of the literature. *Pain Med.* 2015;7:325-336
- Hayek SM, Veizi E, Hanes M. Treatment-limiting complications of percutaneous spinal cord stimulator implant: A review of eight years of experience from an academic center database. *Neuromodulations* 2015;16:603-609
- Hofmeister M, Memedovich A, Brown S, Saini M, Dowsett LE, Lorenzetti DL, et al. Effectiveness of Neurostimulation Technologies for the Management of Chronic Pain: A Systematic Review. *Neuromodulation.* 2020;23(2):150-7.
- Isagulyan E, Slavin K, Konovalov N, Dorochoy E, Tomsy A, Dekopov A, Makashova E, Isagulyan D, Genov P. Spinal cord stimulation in chronic pain: technical advances. *Korean J Pain.* 2020 Apr 1;33(2):99-107. doi: 10.3344/kjp.2020.33.2.99. available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7136296/>
- Karri J, Joshi M, Polson G, Tang T, Lee M, Orhurhu V, Deer T, Abd-Elsayed A. Spinal Cord Stimulation for Chronic Pain Syndromes: A Review of Considerations in Practice Management. *Pain Physician.* 2020 Nov;23(6):599-616. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33185378/>
- Kin K, Agari T, Yasuhara T, Tomita Y, Kuwahara K, Kin I, Umakoshi M, Morimoto J, Okazaki M, Sasaki T, Date I. The Factors Affecting the Difficulty of Percutaneous Cylindrical Electrode Placement for Spinal Cord Stimulation. *World Neurosurg.* 2018 May;113:e391-e398. doi: 10.1016/j.wneu.2018.02.040. Epub 2018 Feb 14. PMID: 29454118. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29454118/>
- North RB, Calodney A, Bolash R, et al. Redefining spinal cord stimulation "trials": A randomized controlled trial using single-stage wireless permanent implantable devices. *Neuromodulation* 2019; 23:96-101.
- Kriek N, Groeneweg JG, Stronks DL, De Ridder D, Huygen FJ. Preferred frequencies and waveforms for spinal cord stimulation in patients with complex regional pain syndrome: a multicentre, double-blind, randomized and placebo-controlled crossover trial. *European Journal of Pain.* 2017 Mar;21(3):507-19.
- Mattie R, Lin AB, Bhandal H, Gill B, Tram J, Braun S, et al. Spinal cord stimulation for the treatment of complex regional pain syndrome: A systematic review of randomized controlled trials. *Interv Pain Med [Internet].* 2024;3(4):100527. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.inpm.2024.100527>

- Rupp A, Francio VT, Hagedorn JM, Deer T, Sayed D. The impact of spinal cord stimulation on opioid utilization in failed back surgery syndrome and spinal surgery naïve patients. *Interv Pain Med* [Internet]. 2022;1(4):100148. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.inpm.2022.100148>
- Rock AK, Truong H, Park YL, Pilitsis JG. Spinal Cord Stimulation. *Neurosurg Clin N Am*. 2019 Apr;30(2):169-194. doi: 10.1016/j.nec.2018.12.003. available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30898269/>
- Narouze S, Benzon HT, Provenzano D, Buvanendran A, De Andres J, Deer T, Rauck R, Huntoon MA. *Interventional Spine and Pain Procedures in Patients on Antiplatelet and Anticoagulant Medications (Second Edition): Guidelines From the American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine, the European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy, the American Academy of Pain Medicine, the International Neuromodulation Society, the North American Neuromodulation Society, and the World Institute of Pain*. *Reg Anesth Pain Med*. 2018 Apr;43(3):225-262.
- North R, Desai MJ, Vangeneugden J, Raftopoulos C, Van Havenbergh T, Deruytter M, et al. Postoperative Infections Associated With Prolonged Spinal Cord Stimulation Trial Duration (PROMISE RCT). *Neuromodulation* [Internet]. 2020;23(5):620-5. Available from: <https://doi.org/10.1111/ner.13141>
- Sdrulla AD, Guan Y, Raja SN. Spinal Cord Stimulation: Clinical Efficacy and Potential Mechanisms. *Pain Pract*. 2018 Nov;18(8):1048-1067. doi: 10.1111/papr.12692. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29526043/>
- Smith BH, Torrance N, Ferguson JA, Bennett MI, Serpell MG, Dunn KM. Towards a definition of refractory neuropathic pain for epidemiological research. An international Delphi survey of experts. *BMC Neurol*. 2012 May 28;12:29. doi: 10.1186/1471-2377-12-29. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22640002/>
- Strand NH, Burkey AR. Neuromodulation in the Treatment of Painful Diabetic Neuropathy: A Review of Evidence for Spinal Cord Stimulation. *J Diabetes Sci Technol*. 2022 Mar;16(2):332-340. doi: 10.1177/19322968211060075. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34842478/>
- Thomson S, Huygen F, Prangnell S, De Andrés J, Baranidharan G, Belaïd H, Berry N, Billet B, Cooil J, De Carolis G, Demartini L, Eldabe S, Gatzinsky K, Kallewaard JW, Meier K, Paroli M, Stark A, Winkelmüller M, Stoevelaar H. Appropriate referral and selection of patients with chronic pain for spinal cord stimulation: European consensus recommendations and e-health tool. *Eur J Pain*. 2020 Jul;24(6):1169-1181. doi: 10.1002/ejp.1562. available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32187774/>
- Traeger AC, Gilbert SE, Harris IA, Maher CG. Spinal cord stimulation for low back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2023, Issue 3. Art. No.: CD014789. DOI: 10.1002/14651858.CD014789. available from: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD014789.pub2/full>
- Vu TN, Khunsriraksakul C, Vorobeychik Y, Liu A, Sauteraud R, Shenoy G, et al. Association of Spinal Cord Stimulator Implantation with Persistent Opioid Use in Patients with Postlaminectomy Syndrome. *JAMA Netw Open*. 2022;5(1):1-14.