

治療装置が埋め込まれている患者の麻酔

徹底分析
シリーズ

脊髄刺激装置

32a ロダンH
34H

前田 知香 15a 新ゴB

脊髄刺激療法 (SCS) は、種々の治療で軽減しない難治性疼痛に対する確立された治療であり、脊髄に電気刺激を与えることで疼痛の軽減を図るものである。本稿では SCS について概説し、疾患および患者特有の問題点、周術期および麻酔の注意点について述べる。

なお、SCS は本来、脊髄刺激療法 spinal cord stimulation を指すが、脊髄刺激装置 spinal cord stimulator を SCS と記載しているものも見かける。本稿では SCS は脊髄刺激療法の意味で用い、各名称はリード、電極、ジェネレータまたは IPG (埋め込み型電気刺激装置)、コントローラ、リチャージャと記載し、体内に挿入されているリードおよび IPG 全体を指す場合は SCS 装置と記載する。

本文 13a トラギ/明瀬 (w2) 17w 話

SCS とは
16a ロダンB
17H (MTRF)

脊髄刺激療法 (SCS) は先端に電極を有するリードを硬膜外腔に留置して、ジェネレータから電気刺激を送ることで脊髄の主に後索を刺激し、痛みを緩和するものである (図 1, 2)。¹⁾ 英国疼痛学会は 2009 年に SCS の反

これにもとづいて選択した患者に対し、一定期間の試験刺激 (トライアル) を行い、有効であった症例に植え込み術を行うという流れが一般的である。

SCS 装置 14a ロダンDB (MTRF)

SCS 装置はリードとその先端に位置する電極、埋め込み型電気刺激装置 implantable pulse generator (IPG) からなる。頸椎領域を刺激する患者では、リードと臀部または腹部の IPG の間に皮下の延長リードを介する場合もある。

図中 ネ-ム
・基本 11a MTRF BBB
・太字のネ-ム
11a 太字 B101

図版は 0.12 31 ケイ
色ベタで囲む

図 1
脊髄刺激装置のイメージ
(文献 1 より) 11a MTRF BBB
患者用コントローラ、
リード (刺激電極)、
刺激装置

11a MTRF BBB
14H
(MTRF)

87 31
88 31

10a トラギ/明瀬 (w3)

MAEDA, Chika
京都府立医科大学 麻酔科学教室
(疼痛・緩和ケア科)

0.5 31 ケイ・色ベタ・天地 14 31

る。患者はリードと IPG の規格を記した手帳と、刺激の変更ができるコントローラを所持している。患者用コントローラとは別に医師用プログラムがあり、刺激方法 (プログラム) の設定、電極のインピーダンス測定 (使えない電極や故障の確認)、非充電式 IPG の電池残量確認、およびデバイスの使用状況の確認ができる。

治療メカニズム

痛覚は、末梢の受容体から Aδ・C 線維 (一次ニューロン) により伝わり、脊髄後角でシナプス伝達を介して二次ニューロンとなり、対側の前索・側索を上行して視床に至る (脊髄視床路)。視床でさらにニューロンを変えて大脳皮質性感覚野や大脳辺縁系に至る。逆に脳幹や大脳皮質から脊髄を下行して脊髄後角でのシナプス伝達を抑制する経路があり、下行性抑制系と呼ばれる。脊髄後角でのシナプス伝達における神経伝達物質にはグルタミン酸やサブスタンス P などがあり、抑制性ニューロンの神経伝達物質は γ-アミノ酪酸 (GABA) などがある。触覚は主に Aβ 線維により伝わり、脊髄後索を上行し、延髄・視床を経由して大脳皮質に至る。

SCS はゲートコントロール理論による鎮痛機序をもとに考案された。ゲートコントロール理論とは、Aδ・C 線維の刺激が脊髄後角においてシナプス伝達される際に、近い脊髄レベルで Aβ 線維の刺激が入ると、抑制性ニューロンを介して伝達が抑制される、というものである。これは「痛いところをさすると痛みが和らぐ」という現象になる。

現在ではこのゲートコントロール理

図 2 脊髄刺激リード、電極および IPG
(ボストン・サイエンティフィック ジャパン社ホームページより引用)
リードには経皮的リードとパドルリードがあり、IPG も複数種類ある。

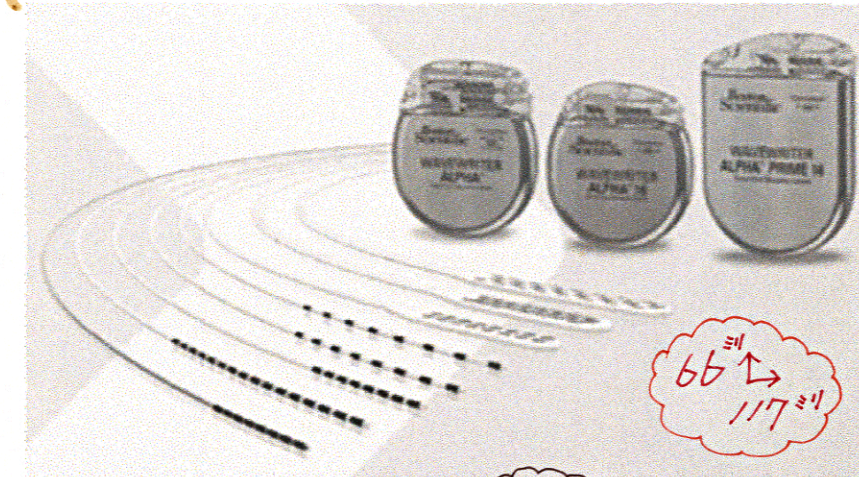


表 1 SCS の適応疾患 (文献 3 より、改変)

good indication (よく反応)	<ul style="list-style-type: none"> ・腰椎術後 (下肢) 神経障害性疼痛、頸椎術後 (上肢) 神経障害性疼痛 ・複合性局所疼痛症候群 ・末梢神経の損傷による神経障害性疼痛 ・末梢血管障害による痛み ・難治性狭心症 ・腕神経叢障害 (部分外傷、放射線照射後)
intermediate indication (時に反応)	<ul style="list-style-type: none"> ・四肢切断後痛 (断端痛 > 幻肢痛で効果) ・脊椎術後の軸性痛 ・肋間神経痛 (例 開胸術後痛) ・帯状疱疹後神経痛 ・脊髄損傷後痛 ・その他の末梢神経障害性疼痛 (例 外傷など)
poor indication (まれに反応)	<ul style="list-style-type: none"> ・中枢痛 (脊髄由来以外のもの (例 脳卒中など)) ・脊髄損傷後痛 (後索機能が消失したもの) ・陰部痛、肛門痛
unresponsive (反応なし)	<ul style="list-style-type: none"> ・完全脊髄損傷 ・虚血を除く、侵害受容性疼痛 ・引き抜き損傷

論以外にも、以下のようなさまざまな機序が明らかになりつつあるが、完全に解明されているわけではない。

- ・下行性抑制系の賦活化
- ・脊髄後角における抑制性と興奮性の神経伝達バランスの是正

- ・脊髄後角におけるグルタミン酸の減少や GABA の増加：これにより神経障害性疼痛における中枢性感作の改善も期待される
- ・グリア細胞の抑制：慢性疼痛患者では脊髄のグリア細胞が異常に活性化

徹底分析
シリーズ

治療装置が埋め込まれている患者の麻酔

表2 SCSを受けている患者の周術期管理

事前準備	<ul style="list-style-type: none"> 挿入されている SCS 装置を手帳で確認 刺激情報をコントローラで確認 他施設で挿入された場合は、情報提供を依頼 術式や機器同士の干渉がないか確認 術者との情報共有
手術室入室	<ul style="list-style-type: none"> モニター心電図波形と干渉の可能性あり コントローラは可能な限り持参してもらい、麻酔導入前に刺激を最弱に設定後、オフまたは手術モードに設定
手術中	<ul style="list-style-type: none"> 無理な体位をとらない 機器同士の干渉に注意 手術部位と SCS 装置が干渉しないか確認
手術終了後	<ul style="list-style-type: none"> 患者が十分に覚醒したのち SCS 再開 機器が問題なく動作することを確認

皮的リードが用いられる。先端の電極数は2極、4極と徐々に増え、8極が主流であったが、近年16極のリードが使用可能になり、より広い椎体間の刺激が可能となった。また、脊髄背側を面で覆う電極を有するパドルリードも開発された。パドルリードは留置には椎弓形成などの外科手術が必要となるが、リードの位置ズレが少なく硬膜外腔に癒着があっても留置が可能である。

刺激方法

かつてトニック刺激が中心であった。これは疼痛部位に別の電気刺激を入れることで刺激が置き換わる、主にゲートコントロール理論にもとづいた鎮痛メカニズムである。しかし、刺激が疼痛部位以外に及ぶと不快感につながることで、体位によって刺激を感じる強さが変動することがしばしば問題となった。そのため近年では刺激感を感じずに鎮痛効果を発揮する、パルスステジアフリーと呼ばれる刺激方法が用いられるようになり、メーカーごとに特徴がある。

日本メドトロニック社の differential target multiplexed (DTM) 刺激は、グリア細胞に影響を及ぼしやすく、神経細胞とグリア細胞の両者へのアプローチで鎮痛効果が期待できる。アボットメディカルジャパン社の BurstDR 刺激は、トニック刺激のように効果が減弱にくく下行性抑制系への影響も期待できる。ボストン・サイエンティフィック ジャパン社の contour therapy は、脊髄背側を面で刺激することで脊髄後角を選択的に刺激し、神経細胞の活動を直接抑制でき、FAST (fast-acting sub-perception therapy) は目的とする後索の一部のみを刺激す

ることにより早く最大限の効果を引き出すことができる。

周術期における
注意

一般的に、患者が麻酔を受ける直前に刺激をオフにする(コラム1)。また、刺激強度を最低レベルに設定しその後オフにする、と記しているものもあり、これによって万一刺激がオンになってしまった場合、刺激強度が低い問題が生じにくいと考えられる⁴⁾。IPG によっては手術モードを備えており、その場合は手術モードに設定する。そのため、可能な限り手術室にコントローラを持参してもらう。

患者個別の注意点

SCS を受けている患者は、痛みのため身体活動や体位に制限がある場合がある。例えば、腰痛のため仰臥位をとるのが困難、アロディニアのため疼痛部位にものが当たることが許容できない、四肢の拘縮による可動域制限などである。術前に患者から情報収集を行い、少なくとも患者覚醒時には該当事項がないようにするとともに、筋弛緩薬投与に伴い可動域以上の体位を取ってしまわないように注意する。加えてリード留置部位の過度な屈曲や伸展により電極の位置のずれやリード断線が生じる可能性があるため体位調整は慎重に行う。

また複数の鎮痛薬を内服していることが多く、その中には麻酔に用いる薬と相互作用をもつものがある。例えば、トラマドール製剤はオピオイドとの相加作用、カルバマゼピンではチトクローム P450 (CYP) 酵素誘導による薬

物代謝の変化、アミトリプチリンなど三環系抗うつ薬ではアドレナリン作動薬の作用増強や術中の血圧低下などがある。内服薬の確認を行い、適宜薬物の用量調整を行う(コラム2)。

麻酔法の選択

全身麻酔は前述の注意点はあがあるが実施可能である。末梢神経ブロックも SCS 装置が留置されている部位を除けば施行できる。一方、脊髄幹麻酔は不可能ではないが避けることが望ましい⁵⁾。安全に実施できたとの報告もあるが、感染やリード損傷のリスクがあり、またリード周囲の硬膜外腔が癒着していると効果が不均一になる可能性がある。やむを得ず実施する場合には、清潔操作に十分留意し SCS 装置から離れた位置で施行する、加えて硬膜外カテーテルを挿入する場合は X 線透視下にリードとの干渉がないことを確認する、などの十分な配慮が必要である。

手術室で用いる機器との干渉

手術室で用いられる医療機器は SCS 装置と干渉があるものが多い(表3)。

X線, CT

いずれも撮影前に刺激オフ、撮影終了後にオンにすることが推奨される。メーカーによっては添付文書に記載のないものもある。筆者のこれまでの経験上は、X線撮影時に刺激をオフしていても患者が違和感を覚えたり SCS 装置に問題が生じたりしたことはない。ただ CT では撮影線量によって患者が刺激を強く感じる現象の報告、リードの不具合が生じたとの報告がある⁴⁾。術中ナビゲーションシステムについては CT と同様であるが、加えて SCS

コラム2

術中の痛みが手術による痛みか
SCSで抑えていた痛みか
わからない…?

手術が長時間に及んだ場合など、痛みが増強してきたような気がする…このバイタル変動は何か原因であろうか…と迷う場面は、SCS 患者にかかわらず存在する。その場合、バイタルの変動や術野の様子から適切と思われる対処、おそらくは鎮痛薬が必要な麻酔薬を増量したり必要に応じて循環作動薬を使用したりするのはないだろうか。正直、全身麻酔下では SCS の効果が切れてしまっているかどうかを判断することは難しく、極端なことを言えば「痛みの部位にかかわらず、術中に痛そうならオピオイドを投与する」ことになるであろう。

化・増殖し、炎症性サイトカインなどを放出することで痛みが慢性化するとされ、SCS にはこれを抑制する働きがあることがわかってきている

- 血管拡張作用、微小循環改善：交感神経過活動の抑制、血管拡張物質であるカルシトニン遺伝子関連ペプチド (CGRP) や NO の放出

機器の進歩と最近の話題

近年、IPG の小型化や刺激範囲の広い電極を有するリードの開発、新しい刺激方法などが開発されている。

リード

古くから硬膜外針を介して挿入する経

徹底分析
シリーズ

治療装置が埋め込まれている患者の麻酔

▼表3 SCS装置との干渉に注意すべき医療機器および治療（各装置の添付文書をもとに作成）

機器	措置・対応	機序・危険因子
心電図	刺激オフ or 手術モード	アーチファクト
電気メス	・刺激オフ or 手術モード ・リード、IPG 周辺で使用しない ・対極板をIPG と反対側（通電回路がリードをまたがないような位置）に貼る ・可能な限り低出力で使用 ・バイポーラで代用	・刺激強度、プログラム変更の可能性 ・装置の破損 ・通電による脊髄損傷
バイポーラ	刺激オフ or 手術モード	
体外式除細動器	・パドルを可能な限り IPG から離す ・パドルを結ぶ軸と IPG 本体とリードを結ぶ軸が直角になるように当てる ・必要最低限のエネルギー出力で使用	・刺激強度、プログラム変更の可能性 ・装置の破損の可能性
超音波装置	・刺激オフ ・プローブを IPG から 15 cm 以上離す	・画像への干渉 ・IPG の破損の可能性
X 線、CT	刺激オフ	・画像への干渉 ・CT では一時的に刺激を強く感じる現象
MRI	・条件付き可（リード、IPG、撮影部位による可否あり） ・撮影可の場合にも刺激オフ	・装置の発熱による組織損傷 ・装置の破損 ・刺激強度、プログラムの変更
治療	可否	可否
結石破砕術	・注意して可	装置の破損
高出力超音波装置	・ビームの焦点を IPG から 15 cm 以上離す	
電気けいれん療法	安全性は確立していない	装置の通電・発熱による組織損傷
高周波・マイクロ波アブレーション	安全性は確立していない	装置の通電・発熱による組織損傷
ジアテルミー	不可	リード電極周囲の組織損傷

装置による金属アーチファクトにより画像が乱れることが指摘されている⁹⁾。放射線治療のように高線量の照射となる場合は、SCS 装置の電子回路が損傷する可能性がある。線源を IPG に向けないこと、照射野が SCS 装置と近い場合には鉛シールドで防護するよう記載されている。

◎超音波装置

検査前に刺激をオフにする。超音波信号の散乱により画像が乱れることがある。また IPG 近傍で用いると電子回路に損傷をきたすため、15 cm 以上離すと記載されているものもある。

◎MRI

SCS 装置によって、撮影の可否および撮影可能な部位、撮影条件が異なるた

め、特に注意が必要である。リードと IPG の植え込み時期が異なる患者では、MRI の可否や撮像条件が両者で異なる場合があり、その場合は条件が厳しいほうが優先される。また、メーカーによっては撮影する技師および立ち合い医師に事前の e-learning を課している。日本メドトロニック社、ポストン・サイエンティフィック ジャパン社は自社のホームページ上に MRI 撮像条件を示しており、アボットメディカルジャパン社製品は添付文書内に条件が記されている。2026 年 3 月現在、1.5 T 水平クローズドボア型の MRI に対応している製品が多い。

◎体外式除細動器

電氣的除細動により体内に高電流が流

れるため、SCS 装置の破損やプログラムの変更などが生じる可能性がある。しかし、それを理由に実施すべき除細動が制限されてはならない（ミニ知識）。

IPG には本体を過電流から保護する回路が備わっているが、使用する場合は SCS 装置に流れる電流を最小限にする必要がある。除細動が必要な状況では時間的余裕がないかもしれないが、可能であれば刺激をオフにする。パドルは可能な限り IPG から離し、パドルを結ぶ軸がリードと IPG を結ぶ軸と垂直になる位置とする。また、出力は臨床的に有効な最小のエネルギーに留める。単相性か二相性かについての記載はないが、出力エネルギーの点からは二相性がよいかもしれない。

施行後は医師用コントローラで SCS 装置の破損がないこと、プログラムの変更がないことを確認し、併せて患者の知覚にも異常がないことを確認する。

注意が必要な術式 → 色ベタ

結石破砕術、高出力超音波治療器では至近距離での処置により IPG の停止や永続的損傷の可能性があるため、刺激をオフにするとともにこれらの機器をできるだけ SCS 装置から離し（焦点を 15 cm 以上離す）、必要最低限の出力にすることが求められている。修正型電気けいれん療法のような経頭蓋刺激法による精神療法の安全性は確立されておらず、リード電極が発熱する可能性があるとされている。高周波またはマイクロ波アブレーションも同様に安全性は確立されておらず、リード電極や IPG の発熱の可能性があると考えられている。

ジアテルミー（高周波温熱機器）は使用禁忌とされており、刺激のオン/オフにかかわらずリード電極周囲に組織損傷が生じ、脊髄の重大な障害や死亡のリスクになり得ることが記されている。

手術終了後 → 色ベタ

手術が終了し、患者が十分に覚醒した後に刺激を再開する。SCS では体位によって刺激強度が変化したり、患者自身で刺激調整を行ったりしている場合があり、また一般的に仰臥位では刺激を強く感じる人が多いため、刺激強度が問題ないか確認できる覚醒度であることが望ましい。同時に、SCS 装置が問題なく動作していることを確認する。

色ベタ
122 → 179
色ベタ
色50%
ス20%
色20%
ス15%
1/a
MFG BBB
17H

色80%
ス10%
13a 新IM
0.3 1/a
14a 新IM
16H

ミニ知識
バイタルが安定している心室頻拍 (VT)、心房細動 (Af)、洞不全症候群 (SSS) などで、一時ペースングを使用してもよい

明確な回答を示すのは難しいが、バイタルが安定している状況では、できればペースングは避けるのが望ましいと考える。もちろんバイタルに異常をきたす場合は、刺激をオフにし、迷わずペースングまたは電氣的除細動 (cardioversion) を行う。
術中であれば SCS 装置は刺激オフになっていることが多いが、刺激オンの状態では SCS 刺激をセンシングしてしまいペースングが抑制される可能性が指摘されている^{4,7)}。ちなみに、植込み型ペースメーカーにおいても、センシングへの干渉の可能性から双極 (D) センシングの設定が推奨されている。また、経皮ペースングでは経静脈ペースングに比して出力エネルギーが大きく、体外式除細動器の項目にあるように SCS 装置の破損やリードに通電するリスクは否定できない。

19W 誌

13a 見直し MB3I
文献 → 色ベタ

1. 日本定位・機能神経外科学会。脊髄刺激療法 (SCS)。《https://jssfn.org/patient/treatment/scs.html》(2026 年 3 月 22 日閲覧)
2. 日本ペインクリニック学会 インターベンショナル痛み治療ガイドライン作成ワーキンググループ編。Ⅷ-1. 脊髄刺激療法。In: インターベンショナル痛みの治療ガイドライン—非がん性疼痛とがん性疼痛。東京：文光堂，2024：182-5。
3. The British Pain Society's トル。Spinal cord stimulation for the management of pain: recommendations for best clinical practice. 2009。《https://www.britishpainsociety.org/static/uploads/resources/files/book_scs_main_1.pdf》(2026 年 3 月 22 日閲覧)
4. Harned ME, Gish B, Zuelzer A, et al. Anesthetic considerations and perioperative management of spinal cord stimulators: literature review and initial recommendations. Pain Physician 2017; 20: 319-29.
5. Bull C, Baranidharan G. Spinal cord stimulators and implications for anaesthesia. BJA Educ 2020; 20: 182-3.
6. Walsh KM, Machado AG, Krishnaney AA. Spinal cord stimulation: a review of the safety literature and proposal for perioperative evaluation and management. Spine J 2015; 15: 1864-9.
7. Martens JM, Fiala K, Glover C, et al. Use of spinal cord stimulators in patients with pacemakers or implantable cardiac defibrillators: a review of documented accounts of interference. Neuromodulation 2023; 26: 43-56.