

特 集

疼痛の機序解明と疼痛治療の最前線

## 高周波熱凝固法・パルス高周波療法・ 硬膜外脊髄電気刺激療法

獨協医科大学 麻酔科学

篠崎 未緒 濱口 眞輔

### 緒 言

ペインクリニックの主な治療手段は、当然ながら神経ブロックである。とりわけ、星状神経節ブロックや硬膜外麻酔の技術を応用した局所麻酔薬による硬膜外ブロックなどは、最初に習得すべき治療手技の代表であった。その後、様々な神経ブロックが紹介され、神経ブロックを知覚神経ブロックと交感神経ブロック、または脳神経ブロック、脊髄神経ブロック、末梢神経ブロックなどに分類した体系化が進むとともに、長期的に効果がみられる神経ブロックも神経破壊薬の使用による欠点や問題点を克服しながら、高周波による神経熱凝固、高周波パルス波や低周波電流による神経刺激によって疼痛緩和を得る新たな治療法が確立されてきた。

本稿では、近年のペインクリニック分野において確立された神経高周波熱凝固法、パルス高周波療法や硬膜外脊髄電気刺激療法などについて概説する。

### 1. 高周波熱凝固法：Radiofrequency thermocoagulation (RFTC)

高周波熱凝固法（Radiofrequency thermocoagulation：RFTC）とは目的とする神経にブロック針を刺入し、高周波電流を流すことで神経を熱凝固させる治療法である。高周波熱凝固法はエタノールやフェノールグリセリンなどの神経破壊薬の注入によって生じ得る予期せぬ合併症を回避することが可能であるため、近年、広く臨床で施行されている。本項では、本邦における高周波熱凝固法の実践について概説する。

#### 高周波熱凝固法の特徴<sup>1,2)</sup>

高周波熱凝固法は目的とする神経に向けて先端以外をテフロンコーティングした専用のブロック針を誘導し、針先端の非絶縁部から高周波電流を放射することで神経伝導を遮断する治療法である。放射された高周波電流は

組織のイオン分子を振動させ、分子運動が活発化した組織は高温となって蛋白変性を起こす。すなわち、「極めて選択的な局所に、電子レンジと同様の原理で蛋白の熱変性を生じさせる」ことが本治療の特徴であり、熱された針が神経を焼灼する治療ではないことへの理解が重要である。本治療を行う際に用いる高周波は300~3000 kHzのラジオ波であるため、本治療法はradiofrequency thermocoagulation、またはradiofrequency neurotomyと呼称されることがある。

#### 高周波熱凝固法開発の歴史

高周波熱凝固法の開発は比較的早く、1920年に世界で初めて高周波エネルギーが医学領域に導入して組織の凝固と切断を試みられたことに始まる。1953年にはSweetが神経を凝固するために高周波で加熱することが優れた方法であることを発表し<sup>3)</sup>、その後に神経高周波熱凝固法は急速な発展を遂げた。文献による報告では、1965年のMullanによるコルドトミー<sup>4)</sup>、1974年のSweetによる三叉神経節の神経高周波熱凝固法<sup>5)</sup>、1975年のShealyによる脊髄後枝内側枝の高周波熱凝固法<sup>6)</sup>、1977年のUematsuによる脊髄後根神経節凝固法<sup>7)</sup>などが知られている。

#### 高周波熱凝固法の原理

一般に、高周波熱凝固法では温度と凝固時間の設定によって組織破壊の範囲と程度を決定することが可能であり、45~85℃で凝固した神経は全ての種類の神経細胞が変性を起こすために、非可逆的な変化を期待する場合には設定温度を44℃以上とする<sup>8)</sup>。痛みを伝達する無髄神経線維を選択的に凝固することで痛覚のみを遮断して触覚などを残存させることも可能である。無髄のC線維や細いAδ線維は60~70℃で損傷するが、有髄のAβは損傷されないことが知られている。通電時間60秒で熱平衡に達した場合にはじめて、凝固巣が形成され、そ

れ以上の通電時間では凝固巣の大きさには影響を与えないが、神経破壊の程度に寄与するともいわれている。神経破壊を目的として確実な効果を目的に大きな凝固巣を作成するためには、90℃の高温で180秒の通電を行う必要がある。凝固巣の大きさは非絶縁部の長さで凝固温度によって決定される。一般に、非絶縁部が4mmの22G非絶縁針では80～85℃で直径2mmの凝固巣が、90～95℃では直径3mmの凝固巣が通電時間60秒で形成される。また、非絶縁部10mmの22Gブロック針では90℃で直径4mmの凝固巣が180秒で形成される。非絶縁部分が長い場合には凝固巣完成までにより多くの時間がかかることが知られている。また、神経と電極の位置に関しては、神経と電極間3mm以内にあれば良好な凝固が可能であるとされている。効果が期待できる期間は1年から数年であり、知覚の完全脱出となった場合は10年程度の効果持続期間が予想される。

### 高周波熱凝固装置

高周波熱凝固装置は1990年頃にラジオ波、マイクロ波熱凝固によるがん治療が開発されたことを契機に脳手術、コルドトミーに応用されてきた。神経ブロック用の高周波熱凝固器はRadionics社製のRF Lesion Generator<sup>®</sup>と高周波パルス治療機能が搭載されたMorgan Automation社製のNeuro Thermo JK3<sup>®</sup>などがあるが、RF Lesion Generator<sup>®</sup>は製造販売が中止されたため、現在はNeuro Thermo JK3<sup>®</sup>とその後継機種のみが本邦で使用可能である(図1)。Neuro Thermo JK3<sup>®</sup>は複雑な操作を排しており、ブロック針先端の位置を確定する神経刺激機能と、通電強度と通電時間を設定する機能、ブロック針先端の温度測定機能のみを有する有用な機器である。とくに、インピーダンス測定装置は電極先端がどの組織内にあるか、また、凝固が成功したことを確認するための大切なモニターとなる。

### 高周波熱凝固法の実際

高周波熱凝固法を施行する場合は、X線透視下で行うことが多い。本治療を成功させるためには、適切な体位を確保すること、骨構造が理解しやすいようにX線装置の管球を操作し、目的とする神経周囲の骨構造を正確に描出することが重要である。例えば、神経根ブロックの場合では患者を腹臥位または約15～30度患側を上にした斜位とし、透視下で目的の椎体を確認して椎体終板の前後像が一致するように透視の管球をあわせる工夫をする<sup>9)</sup>。

刺入点は目的とする神経によって異なるが、交感神経や脊髄に近い体性神経の場合には、体幹正中線からの距



図1 高周波熱凝固装置 Neuro Thermo JK3<sup>®</sup>

離や適切な体位をとったうえでX線透視下に描出される正常骨構造がメルクマールとして設定される。

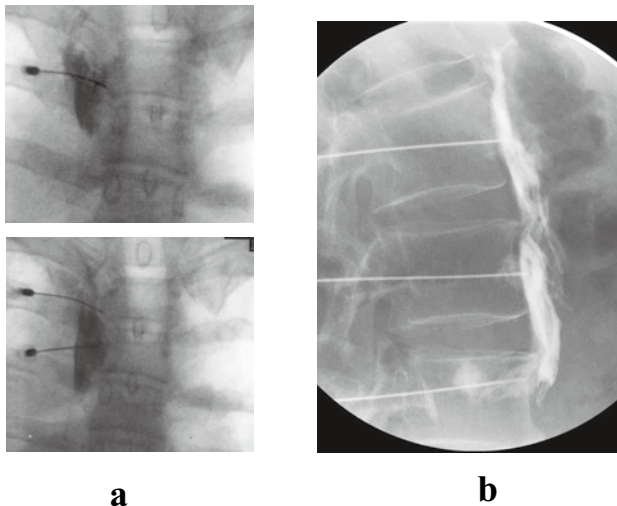
皮膚および目的神経までの刺入経路に局所麻酔を行うが、目的神経が麻酔されないように十分注意する。次に絶縁針を目的神経まで慎重に刺入し、神経近傍に絶縁針を誘導する。神経の放散痛が得られた部位、または解剖学的に目的とする神経が存在する位置まで絶縁針先端が到達した後に低周波刺激を与えて患部への放散痛の確認や支配筋の筋攣縮の確認などを行い、非イオン性水溶性造影剤を注入して適切な造影所見が得られること、造影剤が血管内やくも膜下などの部位に流入していないことを確認する。

絶縁針の内筒に高周波熱凝固針を挿入して、適切な温度と時間で熱凝固を行う。高周波熱凝固を行う際の温度は一般的に50～90℃であり、凝固時間は90～180秒とされる。施行の際に患者が疼痛を訴える場合や筋収縮が強いときは局所麻酔薬を注入し、終了時には神経損傷の予防のために局所麻酔薬と水溶性ステロイド製剤の混合液を注入することがある。

### 高周波熱凝固の利点

アルコールなどの神経破壊薬による神経遮断と比較して、高周波熱凝固法では以下のような利点を有する。

- 1) 神経破壊薬によるブロックを比較して、高周波熱凝固は電極先端に局限した部位の神経のみを凝固するため、アルコール神経炎のような合併症が少ない。
- 2) 神経破壊薬を注入した場合には広範囲に組織を変性させて線維化が生じるために再ブロック時注入困難となることが多いが、熱凝固法ではアルコールと比較し再ブロックが容易である。
- 3) 液体は高周波で振動しにくいので、一般的に血管



**図 2** 交感神経節高周波熱凝固法  
 a. 胸部交感神経節高周波熱凝固法 (Th2, Th3).  
 b. 腰部交感神経節高周波熱凝固法 (L2, L3, L4).

内には熱が発生せず、血管損傷の可能性は低いとされている。

- 4) 神経破壊薬と比較して完全知覚脱出となることが少なく、知覚低下の状態を除痛が可能である。

## 2. 高周波熱凝固法の適応

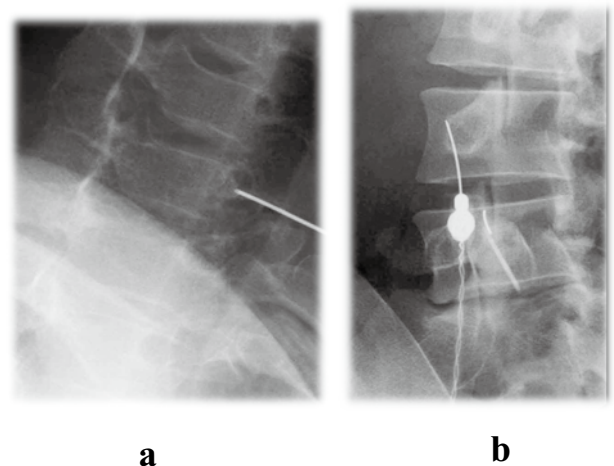
高周波熱凝固法では以下の神経に対して施行することで、神経破壊薬を用いた神経ブロックと同等以上の効果を期待できる。

### 交感神経熱凝固法（胸部、腰部）

交感神経熱凝固法は経皮的に通電用凝固針を刺入し、椎体前側面を縦走する交感神経節が存在するコンパートメントまで凝固針を誘導して交感神経を熱凝固によって遮断する治療法である。交感神経が支配する領域の血行改善、発汗停止、交感神経求心路由来の痛みの緩和を目的とし、胸部、腰部とも一般的に後方傍脊椎法で凝固針を刺入して行われる。胸部では交感神経節1ヶ所につき1~2 ml、腰部では交感神経節1ヶ所につき3 ml以内の局所麻酔薬を注入し、合併症がないことを確認の後に50~90℃、90~180秒間の熱凝固を行う（図2a, b）。

### 神経根高周波熱凝固法

神経根高周波熱凝固法は神経根症状を呈する疾患に施行され、罹患枝（責任神経根）の同定と同時に治療効果が期待できる。神経根に対する高周波熱凝固術は筋力低下を伴うため、癌性疼痛などに適応される<sup>10)</sup>。一方、運動機能の温存を期待する場合には後述のパルス高周波療法を選択する。



**図 3** 脊髄神経後枝内側枝高周波熱凝固法  
 a. 頸椎椎間関節枝高周波熱凝固法 (C7).  
 b. 腰椎椎間関節枝高周波熱凝固法 (L3, L4).

### 後枝内側枝高周波熱凝固法

難治性椎間関節症性疼痛の患者で椎間関節内に局所麻酔薬やステロイドを注入しても長期的な効果が得られない場合には、椎間関節が脊髄神経後枝内側枝から神経支配を受けていることから、後枝内側枝高周波熱凝固法を施行することで長期間に亘る鎮痛効果が得られる（図3a, b）。X線透視下に凝固針を刺入し、目的とする椎間関節を支配する後枝内側枝に対して高周波熱凝固法を行うことは椎間関節性疼痛を軽減させる治療であるため、本治療はRadiofrequency thermocoagulation (RFTC) medial branch rhizotomy, またはPercutaneous radiofrequency facet rhizotomyと呼ばれている。

### 三叉神経高周波熱凝固法

三叉神経高周波熱凝固法は顔面の知覚を司る三叉神経を三叉神経節（ガッセル神経節）から末梢枝に至るいずれかの部位で遮断する方法である。従来は手技が難しく、合併症が重篤な三叉神経節（ガッセル神経節）ブロックが、近年では高周波熱凝固法で行うことで安全に施行できるようになった。三叉神経節（ガッセル神経節）高周波熱凝固法（図4a, b, c）は三叉神経の複数枝罹患症例や末梢神経遮断が無効の症例に施行され、X線透視下に凝固針を100 Hz×1.0-0.5 V程度で刺激を行いながら経卵円孔的に三叉神経槽入口部まで刺入して高周波熱凝固を行う。

### その他

高周波熱凝固法では上述の神経熱凝固以外に、肋間神経ブロック（図5）、DREZ-lesion、経皮的コルドトミー、



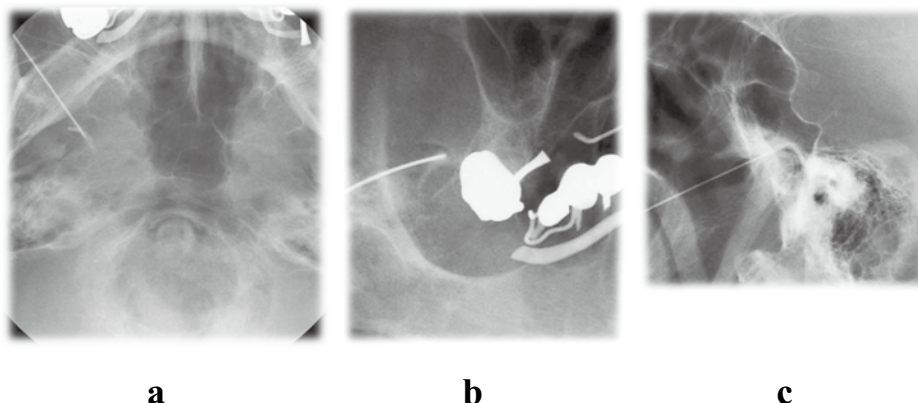


図4 三叉神経節（ガッセル神経節）高周波熱凝固法

- a. 経卵円孔的三叉神経造影所見（軸位）.
- b. 経卵円孔的三叉神経造影所見（斜位）.
- c. 経卵円孔的三叉神経造影所見（側位）.



図5 肋間神経高周波熱凝固法  
肋間神経に沿ってみられる造影所見.

椎間板内高周波熱凝固療法，経皮的な高周波椎間板減圧術などが可能である。

### 3. パルス高周波療法 (pulsed radiofrequency : PRF)

パルス高周波療法 (pulsed radiofrequency : PRF) は，42℃ 以下の比較的低温の高周波電流を間欠的（パルス状）に神経に与え，神経を刺激しながら痛みを軽減する方法であり，オランダの麻酔科医である Sluiter が 1998 年に初めて報告している。高周波熱凝固法は施行する神経部位，凝固熱温度によってその効果は局所麻酔に近いものから神経破壊薬に準ずるものまでであるが，パルス高周波療法は周辺の温度が拡散して凝固が起こらず，長期間に及ぶ運動機能を温存した知覚低下が得られ

る点が特徴として挙げられる。そのため，難治性の神経根症状を呈する患者には，運動機能温存のため，神経根パルス高周波療法が選択される。神経根パルス高周波療法は頸部神経根，腰仙部神経根のいずれでも施行することが可能である（図 6a, b）。

Slappendel ら<sup>11)</sup> は頸椎症性神経根症を有する患者に対して 67℃ 群と 40℃ 群の 2 群の高周波熱凝固術を行い，両者間で有効性に有意差はなかったが 40℃ 群では筋力低下を認めなかったと報告している。また，安部ら<sup>12)</sup> は 40℃ 低温による高周波を腰部神経根ブロックを行うことで従来の方法による局所麻酔とステロイド混合液注入による神経根ブロック単独よりも有効期限の延長を報告している。Sluiter ら<sup>13)</sup> は神経根症状を有する患者と術後腰下肢痛患者に対して 40℃ による高周波熱凝固法とパルス高周波療法を行い，いずれにしてもパルス高周波療法がすぐれていたことを報告している。さらに，Munglani<sup>14)</sup> は神経障害性疼痛に対してパルス高周波療法を行い良好な結果を得ている。パルス高周波療法は神経に断続的な 42℃ の加熱と電磁波刺激を加えることで経皮的神経電気刺激様の鎮痛効果や脊髓や上位中枢に作用する鎮痛効果が生じると推測されている。

#### パルス高周波療法の実際<sup>15)</sup>

パルス高周波療法も高周波熱凝固法と同様に X 線透視下で行うことが多く，適切な体位の確保と，X 線装置の管球を操作して目的とする神経周囲の骨構造を正確に描出することが重要である。目的神経に絶縁針先端が到達した後に絶縁針内に通電用凝固針を挿入してパルス高周波発生装置に接続し，120～180 秒間のパルス高周波治療を行う。治療開始とともに刺激側の下肢の筋収縮を

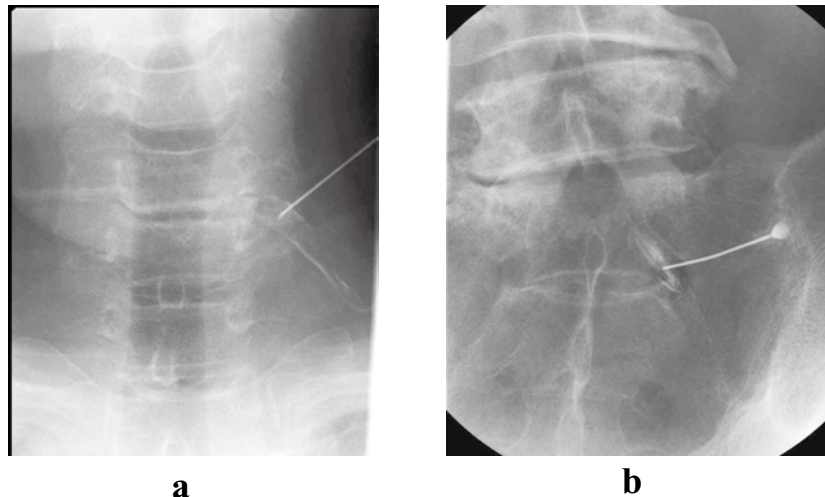


図6 神経根パルス高周波療法

- a. 頸部神経根パルス高周波療法（左 C6 神経根造影）。  
b. 腰仙部パルス高周波療法（右 S1 神経根造影）。

認めるが、患者が疼痛を訴える場合や筋収縮が強い場合には局所麻酔薬 0.3～0.5 ml を注入する。このとき温度モニターが 42℃ に上昇していることを確認し、治療が終了した時点で神経損傷の予防のために局所麻酔薬 1～2 ml と水溶性ステロイド 2～4 mg の混合液をさらに注入する。

#### 4. 硬膜外脊髄電気刺激療法 (Spinal cord stimulation : SCS)

硬膜外脊髄電気刺激療法、または脊髄刺激療法 (Spinal cord stimulation : SCS) は神経調節療法 (neuromodulation) に含まれる治療手技で、痛みの緩和を目的として脊髄硬膜外腔に刺激電極を挿入・留置して脊髄を刺激することで鎮痛を得る治療法である。

##### 硬膜外脊髄電気刺激療法の鎮痛機序

硬膜外腔に留置された電極は、疼痛部位を支配している脊髄髄節後索を刺激することで鎮痛効果を得る。鎮痛が得られる機序としては①抑制性介在ニューロンの活性化による痛覚入力抑制、②脊髄後角の広作動域ニューロン (WDR ニューロン) の異常活動の抑制、③下行性痛覚抑制系の刺激・賦活、④  $\gamma$ -アミノ酪酸 (GABA) などの内因性鎮痛系の賦活などが考えられているが<sup>16,17)</sup>、証明されたものはない。

##### 硬膜外脊髄電気刺激療法の適応

効果が期待のできる症例は四肢または背部に局限した疼痛であり、各種神経ブロックで一時的でも鎮痛効果が得られる頸部以下の疼痛であれば効果が期待できる。当

院での治療有効例は多発性硬化症、複合性局所疼痛症候群 I 型、II 型 (CRPS type1, type2)、脊椎術後慢性痛 (Failed back surgery syndrome : FBSS)、横断性脊髄炎、脊髄損傷、外傷性腰椎症、帯状疱疹後神経痛 (PHN) などであり、文献的な報告と一致している<sup>18,19)</sup>。

上述の症例はいずれも限局性の疼痛であり、神経ブロックで短期間の鎮痛効果がみられ、1%リン酸コデイン散 2～3 g/回の内服後に若干でもペインスコアに変化が見られる症例に対して施行している。

##### 硬膜外脊髄電気刺激療法施行時の注意点

硬膜外脊髄電気刺激療法を開始する前には、まず刺激療法の効果判定について正確に伝えることが重要である。鎮痛効果は疾患の種類、疼痛強度、罹患期間や患者の精神状態などが関与することで個人差が大きくみられるため、硬膜外脊髄電気刺激開始前後の疼痛強度の変化の確認が本治療の鍵となる。また、約 1 週間かけて試験刺激を行い、試験刺激の強度、頻度、刺激時間や刺激時の姿勢などで鎮痛効果が異なるため、刺激強度、頻度、刺激時間や刺激時の姿勢を変えることで ADL の高い鎮痛効果が得られるか否かを見極めることが重要である。

##### 硬膜外脊髄電気刺激療法の実際<sup>20)</sup>

硬膜外脊髄電気刺激療法は硬膜外腔に刺激電極を挿入し、腹部や胸部の皮下に刺激用ジェネレータを埋め込み、これを接続して皮膚上からジェネレータのスイッチを操作して硬膜外刺激を行う。現在、硬膜外に挿入する電極は 4 極型と 8 曲型の 2 種類がある (図 7a, b)。さらに、刺激ジェネレータは 4 極型電極であれば最高で 4 本、8

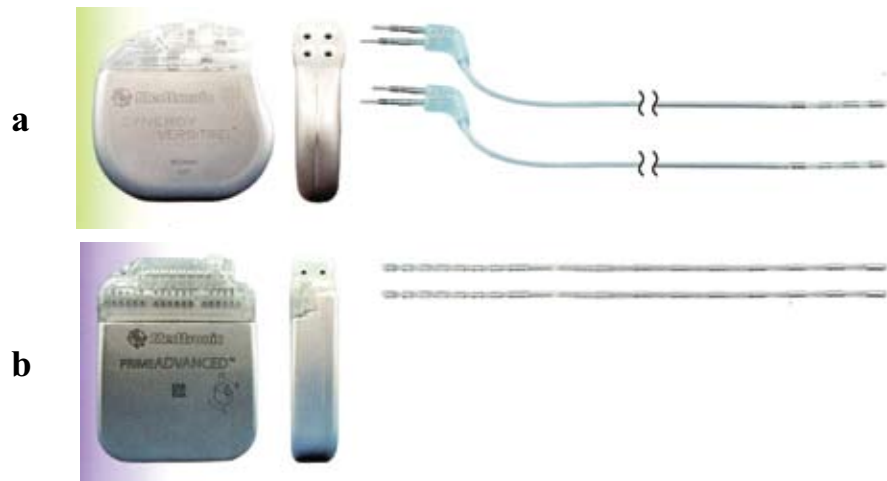


図7 硬膜外脊髄電気刺激用電極装置

- a. 4極型刺激電極と刺激用ジェネレータ (Synergy Versitrel<sup>TM</sup>).  
 b. 8極型刺激電極と刺激用ジェネレータ (Prime Advanced<sup>TM</sup>).



図8 硬膜外脊髄電気刺激療法の施行時の体位

- a. 腹臥位.  
 b. 側臥位.

極型電極で最高2本接続して複数部位の刺激が可能な機種が使用されている。したがって、疼痛部位と疼痛範囲によって挿入する電極の本数と刺激設定を調節することで適切な鎮痛効果を期待できる。当院では、腰椎手術後の片側下肢痛と腰痛に対して4極型電極1本に2種類の刺激を行うことで良好な疼痛緩和を見た経験がある<sup>21)</sup>。

硬膜外脊髄電気刺激療法の体位は基本的には腹臥位とされているが、腹臥位がとれない患者は側臥位で施行する(図8a, b)。記憶に残る当院の経験例として、外傷性腰椎症患者に対して術中に腹臥位で適切な位置にリードを挿入したが病棟で仰臥位になると効果がなく、腹臥位の際のみ有効な刺激が得られる例があった。日常で腹臥位を機会は多くないことを理由に、本症例に側臥位で再挿入した結果、病棟でも側臥位をとれば良好な刺激が得られ、埋め込み術を施行した数ヵ月後にはどの体位で

も満足できる刺激が得られるようになった。側臥位では透視装置に対して常に垂直の姿勢を保つのが困難であるが、このような症例に対して有用な試験刺激を行うためには側臥位での挿入も検討する必要がある。

硬膜外穿刺の際には透視下に椎体を確認し、硬膜外針を目標レベルの「3~4+2」椎体下の皮膚から施行する。これは2椎体下位から傍正中法で硬膜外穿刺を行い、リードが硬膜外腔で3~4椎体分の距離を上向することを目的としている。皮膚刺入部から2椎体上位で硬膜外穿刺を行うと、皮膚から1椎体上位で硬膜外穿刺を行うよりも皮膚から硬膜外腔への刺入角度が大きいので硬膜背側へリードを挿入しやすい。さらに、リードが神経根方向に落ちにくく、髄腔内に迷入する危険性も小さくなるので推奨できる方法である。ちなみに腰下肢痛の症例ではリード先端を到達させる目標が疼痛部位を支配してい



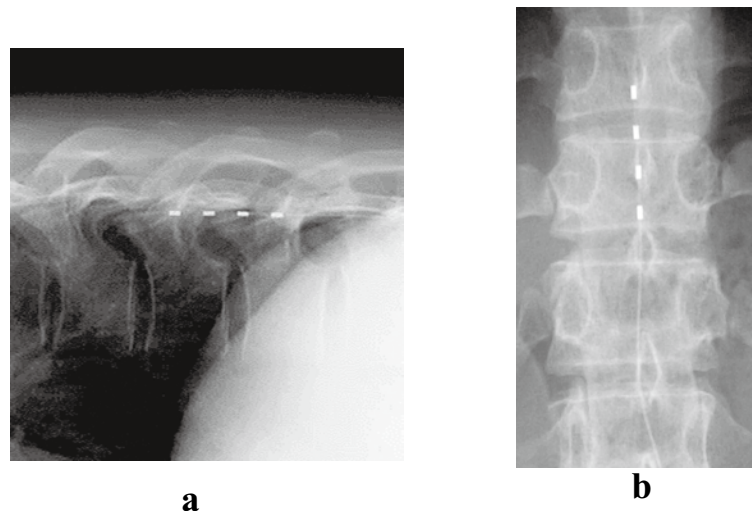


図9 硬膜外脊髄刺激電極挿入時のX線所見

- a. 正中にある棘突起陰影と重なるようにリードを進んでいる。  
b. 電極が脊髄背側を上行している。

る脊髄髄節後索で Th9~10 付近なので、刺入する部位は L2 椎体棘突起外側となる。そして硬膜外針を Th12 棘突起正中下端に向けて挿入し硬膜外穿刺を行う。

硬膜外穿刺後に X 線透視でガイドワイヤを確認するとき、ガイドワイヤが硬膜外針先端から脊柱管内を頭側へ上向する所見が得られれば硬膜背側に入っている所見なのでリードも同様に上向する。ガイドワイヤが脊柱管外側へ向かうようであればリードは神経根方向へ落ち込み腹側に回り込んでしまうのでベベルの向きを変えるか、硬膜外穿刺をやり直す。リード挿入時に、癒着のためにリードを脊柱管正中で上向できないことが多いので、「見えない硬膜外癒着でできた柱」の間を“スラローム”させる要領でリードを上向させる。透視で棘突起が正中にあること、リードが脊髄背側を上行していることを常に確認し、可能な限り棘突起の陰影と重なるようにリードを進めるように心がけて施行する (図 9a, b)。

試験刺激は電極が 4 極型であれば 0: off, 1: (-), 2: (+), 3: off, 8 極型であれば 0: off, 1: off, 2: off, 3: (-), 4: (+), 5: off, 6: off, 7: off の、いわゆるセンターバイポーラ法を基本として位置調整と刺激設定を行う。刺激部位が離れていれば刺激を停止して位置の修正を行うが、位置の微調整が必要なときは疼痛部位近傍で刺激が得られた数回の刺激出力を確認する。数回の刺激で出力がほぼ同じであれば、刺激をしたまま電極を 1~2mm 移動させて最適な位置を探る。この方法はトローリング (trawling) と呼ばれている。

試験刺激は約 5~7 日間行い、患者がパルス幅は操作せずに電流閾値の強弱のみの調整で済むように配慮する。①姿勢によって刺激の強弱が見られること、②一番

効果のある姿勢を探すのが非常に大切であること、③刺激の強弱と使用頻度で効果が異なることを必ず患者に伝える。糖尿病による易感染状態や抗凝固療法中止期間などを考慮すると、術中のテスト刺激で良好な刺激感や患肢の温感出現が認められかつ患者が希望した場合には早期に IPG の植え込みまで行うことも検討する。

埋め込みの際、リード固定を深い部位 (棘上靱帯直上) に固定すると術後の体位によるリードのずれが軽減でき、術後の創部痛も軽減できる。

## ま と め

近年、麻薬性鎮痛薬による非がん性慢性疼痛の治療例は増加傾向にあるが、麻薬性鎮痛薬による疼痛緩和は一度導入されると終了、離脱は困難であり、今後の社会的問題にもなりえる。本稿で紹介した神経高周波熱凝固法、パルス高周波療法や硬膜外脊髄電気刺激療法などは慢性難治性疼痛症例の麻薬性鎮痛薬使用量の減量、終了、離脱に有用な治療法であり、画像診断と手技に関与する画像の評価、適応などを十分に検討してこれらの治療を行うことが今後の疼痛治療に必要であると考えられている。

## 文 献

- 1) Gauci CA, Jankowiak B: Manual of RF techniques a practical manual of radiofrequency procedures in chronic pain management, 2<sup>nd</sup> ed. Amsterdam, Filvo Press BV, 2008.
- 2) 塩谷正弘: 高周波熱凝固法の原理と応用. ペインクリニック 7: S592-S600, 2006.

- 3) Sweet WH, White JC : Pain fibers in the petrosal nerves. *AMA Arch Neurol Psychiatry* **69** : 254-255, 1953.
- 4) Mullan S, Hekmatpanah J, Dobben G et al : Percutaneous, intramedullary cordotomy utilizing the unipolar anodal electrolytic lesion. *J Neurosurg* **22** : 548-553, 1965.
- 5) Sweet WH, Wepsic JG : Controlled thermocoagulation of trigeminal ganglion and rootlets for differential destruction of pain fibers. *J Neurosurg* **40** : 143-156, 1974.
- 6) Shealy CN : Percutaneous radiofrequency denervation of spinal facets. Treatment for chronic back pain and sciatica. *J Neurosurg* **43** : 448-451, 1975.
- 7) Uematsu S : Percutaneous electrothermocoagulation of spinal nerve trunk, ganglion and rootlets. In : Schmidel HH, Sweet WS, eds. *Current techniques in operative neurosurgery*. Grune and Stratton : New York, 1977.
- 8) Smith HP, McWhorter JM, Challa VRJ : Radiofrequency neurolysis in a clinical model. *Neuropathological correlation*. *Neurosurg* **55** : 246-53, 1981.
- 9) 大瀬戸清茂 : 神経根ブロック (若杉文吉監修, ペインクリニック, 神経ブロック法), 東京, 医学書院, 1988, 221-227 大瀬戸清茂 : 神経根造影ブロック手技 ペインクリニック **16** : 263-268, 1995.
- 10) 大瀬戸清茂 : 脊髄神経高周波熱凝固法 (若杉文吉監修, ペインクリニック, 神経ブロック法), 東京, 医学書院, 1988, 257-259.
- 11) Slappendel R, Crul BJ, Braak GJ et al : The efficacy of radiofrequency leasioning of the cervical spinal dorsal root ganglion in a double blinded randomized study : no difference between 40 °C and 67°C treatment. *Pain* **73** : 159-163, 1997.
- 12) 安部洋一郎, 大瀬戸清茂, 長沼芳和, 他 : 40°C 高周波を加えた腰部神経根ブロック. *ペインクリニック* **20** : 1221-1222, 1999.
- 13) Sluijter ME, Cosman ER, Rittman WB et al : The effects of pulsed radiofrequency fields applied to the dorsal root ganglion : a preliminary report. *Pain Clin* **11** : 109-117, 1998.
- 14) Munglani R : The longer term effect of pulsed radiofrequency for neuropathic pain. *Pain* **80** : 437-439, 1999.
- 15) 篠崎未緒, 大瀬戸清茂, 長沼芳和, 他 : 腰部神経根 Pulsed Radiofrequency 療法の手技. *ペインクリニック* **24** : 1513-1515, 2003.
- 16) Harke H, Gretenkort P, Ladleif HU et al : Spinal cord stimulation in postherpetic neuralgia and in acute herpes zoster pain. *Anesth Analg* **94** : 694-700, 2002.
- 17) 蔵 昌宏 : 奏効機序. (森本昌宏・編 : 脊髄電気刺激療法). 東京, 克誠堂出版 21-24.
- 18) Kumar K, Taylor RS, Jacques L et al : Spinal cord stimulation versus conventional medical management for neuropathic pain : a multicentre randomised controlled trial in patients with failed back surgery syndrome. *Pain* **132** : 179-188, 2007.
- 19) Amann W, Berg P, Gersbach P et al : Spinal cord stimulation in the treatment of non-reconstructable stable critical leg ischaemia : results of the European Peripheral Vascular Disease Outcome Study (SCS-EPOS). *Eur J Vasc Endovasc Surg* **26** : 280-286, 2003.
- 20) 濱口眞輔 : 脊髄刺激療法を有効に行うためのコツと注意点. 宮崎東洋 (編) 「ペインクリニックのための痛み診療のコツと落とし穴」 : pp201-203, 中山書店, 東京, 2007.
- 21) 手塚薫子, 金子瑞恵, 大谷太郎, 他 : シングルリードによるデュアルスティム法の脊髄刺激療法によって良好な疼痛管理を行なった1例. *ペインクリニック* **29** : 789-791, 2008.