

## 光線力学的療法におけるOxySoft™の有用性

—パルスオキシメータ関連皮膚障害を防ぎ、安全なモニタリングを実現する—



近藤 一郎 先生

東京慈恵会医科大学麻酔科 教授

### ご略歴

1992年 東京慈恵会医科大学卒業  
1992年 日本赤十字社医療センター レジデント  
2000年 東京慈恵会医科大学大学院 博士課程修了  
2002年 カリフォルニア大学サンディエゴ校 麻酔科  
リサーチフェロー  
2005年 東京慈恵会医科大学麻酔科学講座 講師  
2009年 東京慈恵会医科大学麻酔科学講座 准教授  
2019年 東京慈恵会医科大学麻酔科学講座 教授  
2020年 東京慈恵会医科大学附属病院手術ケアセンター  
センター長

### はじめに

光線力学的療法 (photodynamic therapy : PDT) は、光感受性物質を静脈内投与し、一定時間後に標的組織へ集積したその物質に対して特定波長のレーザー光を照射することで、腫瘍や新生血管を選択的に壊死・縮小させる治療法である。高出力レーザーで組織を焼灼する従来のレーザー手術とは異なり、比較的低出力のレーザーと薬剤の組み合わせにより化学反応を引き起こす点が特徴であり、本邦においては悪性腫瘍（肺がん、悪性脳腫瘍、早期食道がん、再発性食道がん、胃がん、早期子宮頸がん）治療や加齢黄斑変異症治療において保険適用となっている。

一方で、光感受性物質の全身投与に伴い、皮膚や眼が長期間「光線過敏状態」となることが知られている。とくに麻酔科医にとって重要なのは、この光線過敏性が、日常診療でごく当たり前に使用しているパルスオキシメータなどの「普通の光」を用いる機器によっても予期せぬ皮膚障害を引き起こし得る、という点である。実際に、PDT周術期にパルスオキシメータ装着部に限局した水疱形成や熱傷が報告されており、長時間手術や高リスク患者の麻酔管理における新たな注意点として認識されている。

本稿では、PDTにおける光線過敏症の機序とパルスオキシメータ関連熱傷症例を概説したうえで、クリップ式と貼付式センサーの特徴を整理し、貼り替えを前提とした貼付式センサー OxySoft™の有用性について、当院での実臨床経験を踏まえて述べる。

## PDT と光感受性物質： なぜ「普通の光」で皮膚障害が起こるのか

PDTでは、光感受性物質であるタラポルフィンナトリウムを静脈内投与する。この薬剤は悪性腫瘍や新生血管に選択的に集積する一方、皮膚や肝臓、脾臓などにも一定量が分布する。薬剤そのものは暗所ではほとんど毒性を示さないが、特定波長の光を吸収することで励起され、一重項酸素をはじめとする活性酸素種を産生し、強い細胞障害性を発揮する。これがPDTの治療効果の本質である。

しかしこのメカニズムは、治療目的のレーザー照射部位だけでなく、「光感受性物質が残存している組織」に「光」が当たる場所であれば、理論上どこでも起こり得る。とくに皮膚は薬剤が比較的高濃度で存在し、かつ環境光に常にさらされる臓器であるため、PDT施行後の患者では日常生活のレベルの光でも光線過敏症状（紅斑、浮腫、水疱、熱傷様変化）を生じる可能性がある。PDT治療の為に当該物質投与から2週間は直射日光を避ける等の安全管理が必要となる事に加え、パルスオキシメータ等の光を測定原理とする検査測定機器についても継続的な装着を可能な限り避ける旨の注意喚起がされている<sup>1)</sup>。そのため多くの施設では、光感受性物質投与後一定期間、患者が自然光や蛍光灯の光に直接曝露されないよう徹底した遮光管理を行っている。具体的には、薬剤投与後は病棟では個室管理で遮光カーテンを使用、病棟からの移動では、

- 長袖・長ズボン、あるいは全身を覆うガウン
- 手袋や靴下
- 帽子
- サングラスや遮光眼鏡

などで全身を覆ったうえで手術室へ入室し、術後も同様の装いで退室・病棟管理を行う。当院においても、脳外科 PDT 症例では薬剤投与後から術後一定期間、上記のような手段で光線過敏症状の予防に努めている。

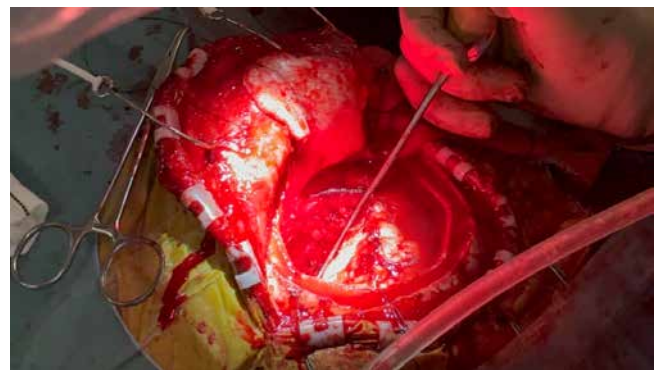
このように「環境光」に対する対策はかなり徹底されている一方で、医療機器が発する光、とくにパルスオキシメータの赤色光（約660nm）や近赤外光（約900nm（Nellcorでの採用波長））に関しては、十分注意が必要である。タラポルフィンナトリウムは664nmに主吸収帯を有しており、これはパルスオキシメータの赤色LED光（約660nm）とほぼ一致する。そのため、PDT 施行中に装着したパルスオキシメータからの微弱光であっても、長時間照射により光感受性物質が励起され、装着部皮膚に光化学的障害を引き起こす可能性が指摘されている。パルスオキシメータは、麻酔管理においてはもはや必須のモニタリングであり、多くの場合その装着時間は長時間に及ぶ。したがってPDT症例では、この“日常的に使用する光源”が同一部位を長時間照射することで、光感受性物質が局所的に励起されていることを考慮しなければならない。

なお、近年国内では、泌尿器科や脳神経外科の実臨床を中心に、腫瘍の取り残しや微小遺残病変の評価を目的として、5-アミノレブリン酸（5-aminolevulinic acid: 5-ALA）を用いた蛍光診断が

広く行われている。5-ALAは体内でプロトポルフィリン IXに代謝され、主として405nmの青紫光で励起される。このため、PDTに用いられるタラポルフィンナトリウムとは吸収波長が大きく異なり、パルスオキシメータの赤色LED光（約660nm）による影響は通常問題とならない。



入室時



悪性脳腫瘍に対する光線力学療法（PDT）の術中照射

## PDT中のパルスオキシメータ関連皮膚障害

PDT周術期にパルスオキシメータ装着部の熱傷・水疱を来した症例報告はいくつか存在する。代表的な報告として、ポルフィマーナトリウム投与後に脳腫瘍PDTを施行した10代患者で、長時間にわたり指尖部にクリップ式パルスオキシメータを装着していたところ、レーザー照射後48時間でプローブ光源側に一致したII度熱傷を生じた症例がある<sup>2)</sup>。また、タラポルフィンナトリウムを用いた食道癌PDT症例で、パルスオキシメータを10分ごとに左右の指に交互に装着していたにもかかわらず、両側の装着部位に水疱形成を認めた症例が報告されている<sup>3)</sup>。いずれも装置自体の故障はなく、皮膚内に残存した光感受性物質が660nm付近の赤色光を発するパルスオキシメータによって繰り返し励起され、長時間の局所光照射とセンサーによる圧迫により皮膚温が上昇したことが要因と推測されている。

さらに、PDTとは直接関係しない一般外科・整形外科手術や小児手術においても、クリップ式パルスオキシメータによる指部の圧迫傷害や熱傷が複数報告されている。これらの症例では、長時間の同一部位への装着、強い挟み込み圧、末梢循環不全などが組み合わさり、発症していた<sup>4,5)</sup>。

つまり、光感受性物質の有無にかかわらず、「強い圧迫と長時間装着」はパルスオキシメータ関連皮膚障害の重要なリスク因子であり、PDT症例ではこれに「光化学的要因」が加わることで、より重大な障害へと発展し得ると考えられる。

## クリップ式と貼付式パルスオキシメータの特徴

実臨床で用いられるパルスオキシメータセンサーは大きく、クリップ式（リユーズابل）と貼付式（ディスポーザブル）の2種類に分けられる。両者は構造が大きく異なり、利点と欠点も明確に異なる。

### 1) クリップ式（リユーズابل）センサー

クリップ式は、洗濯バサミのような形状で指尖を挟み込む構造をしており、センサー本体を繰り返し使用できる点が特徴である。主な利点として、

- 装着・取り外しが容易で、術中に装着部位を変更しやすい
- 初期導入コストが比較的低い（本体は再使用可能）が挙げられる。

一方で、

- サイズに制限があり、指の太さや形状によっては安定装着が困難
- 強い挟み込み圧により、長時間装着で圧痕、圧挫傷、虚血が生じ得る
- 体位変換や術中操作で外れやすく、再装着のたびに値が不安定になる
- リユーズابلであるがゆえに、消毒していても衛生面に不安が残る

といった欠点がある。また、手術終了後、患者が覚醒して手を動かし始めると、クリップが容易に外れ、モニタリングが途切れるという問題も日常的に経験する。



Nellcor DS100A

	クリップ式（リユーズابل）	貼付式（ディスポーザブル）
装着の容易さ・自由度	◎ 外すのは簡単 ○ 装着や付け替えは容易 ○ 基本は指尖に限られる	◎ 貼り替えが容易 ◎ 指・足趾など複数部位に対応 ◎ 頻回貼り替えが可能で粘着力も維持
装着の安定性	× 術者の接触・振動で外れやすい × 覚醒後、手を動かすと外れやすい	◎ しっかり固定され外れにくい ◎ 回復室や病棟でもモニタリングが継続しやすい
圧迫による皮膚障害	× 挟み込み圧が強く、圧痕・圧挫傷・水疱の報告あり	◎ 圧力が分散し圧痕がでにくい ◎ 圧挫傷リスクは相対的に低い
末梢循環低下時の測定精度	△ 冷えや浮腫で誤値が出やすい △ 挟み込みで血流がさらに低下し得る	◎ 光が均一に当たり感度良好 ◎ 末梢循環不良例でも比較的安定
衛生面	× 再使用のため、消毒しても心理的な抵抗が残る	◎ ディスポーザブルで衛生的
費用	◎ 本体は再使用可能でコスト低	△ 使い捨てで単価は高い

表1 クリップ式と貼付式パルスオキシメータセンサーの比較



## 2) 貼付式（ディスポーザブル）センサー

貼付式センサーは、指や耳介、足趾などの皮膚に直接貼り付ける構造で、多くはディスポーザブルとして提供される。ネルコアオキシセンサ III に代表される従来型貼付式（写真右）は、一度貼り付けると剥がした際に粘着性が著しく低下し、張り替えが困難となる事もあるが、OxySoft™（写真左）は張り替え時にも「粘着性が維持される」点に特徴がある。貼付式の一般的な利点として、

- 指以外にも足趾など、装着部位の自由度が高い
  - 圧力が分散し、クリップ式に比べ圧迫による圧痕や疼痛が少ない
  - 末梢循環が悪い症例でも、光が均一に当たり感度が良い
  - 術中体位変換や覚醒後の四肢運動でも外れにくい
  - ディスポーザブルで衛生的
- といった点が挙げられる（表1）。



Nellcor OxySoft™



OXIMAX N-25

## 当院でクリップ式を使用しない理由

当院手術室では、以上の特徴を踏まえ、原則として貼付式センサーを標準とし、クリップ式センサーは一部の短時間手術に限って使用している。ダヴィンチなど増加する腹腔鏡手術では患者の両上肢は体側に固定とされる。そのうえ、頭側は助手やロボットアームで混雑し、患者の手指へのアクセスがほぼ不可能となる。そのため、クリップ式パルスオキシメータが外れた場合に再装着が極めて困難である。

一方、貼付式は指以外にも使用でき、圧力が分散され圧痕ができにくく、末梢循環不良例でも感度が良い。また、術後患者が起きて手を動かしても外れにくいことから、周術期を通じて連続したSpO<sub>2</sub>モニタリングが可能である。これらの理由から、当院では貼付式を第一選択とし、複数回張り替え時にも粘着性が維持されるOxySoft™をPDT症例の麻酔管理に積極的に用いている。

## PDT症例におけるOxySoft™の有用性

PDT症例では、前述のように光感受性物質が皮膚に残存しており、パルスオキシメータLEDによる局所的な光照射が化学的熱傷の引き金となり得る。さらに長時間の圧迫、末梢循環の変化などが加わることで、皮膚障害のリスクは一層高まる。そのため、PDT症例の麻酔管理では、従来の「適当に一カ所に付けっぱなし」という発想から転換し、

- 装着部位を定期的に変更して局所の光曝露と圧迫時間を分散する
- 必要に応じてセンサー部を遮光材（ガーゼやアルミシート）で覆う
- 皮膚の状態をこまめに確認し、発赤や水疱の初期変化を見逃さない

といったきめ細かな配慮が求められる。一方で、左右の両指に貼付式を装着して一定時間で区切って交互に測定を行う手段もあるが、同じ所に光線が集中するため皮膚障害を起こす可能性がある。

OxySoft™の最大の特長である「貼付式でありながら粘着パッドが柔らかく、何度も張り替えしても粘着性が維持される」という点はこのようなPDT症例特有の皮膚障害リスクへの対応に有用である。

## 当院での運用例

当院のPDT症例（悪性脳腫瘍に対する開頭手術併用PDTなど）では、以下のような方針でOxySoft™を用いている。

### 1) 薬剤投与後～手術室入室まで

- 光感受性物質投与後、病棟にて直ちに遮光管理（照度計で500ルクス以下）を開始
- 院内での移動は常に帽子、サングラスを着用
- 直射光が患者の露出部に当たらないよう配慮し、手術室へ移送する際も同様の装いとし、廊下やエレベータの蛍光灯からの曝露を最小限にする

### 2) 手術室入室後～麻酔導入

- 手術室内照明は通常より暗めに設定
- 麻酔導入時にOxySoft™を装着するが、この時点で「どの部位からローテーションを始めるか」をチームで共有

### 3) 手術中

- 30分ごとに装着部位を変更（左右の複数指、足趾など）
- 皮膚の発赤、水疱形成、圧痕の有無を定期的に観察し、もし異常を認めた場合は直ちに部位変更と局所の冷却・保護を行う

### 4) 術後回復室～病棟

- 覚醒後も、OxySoft™の装着を継続し、手術中と同様に30分毎の交換を行う。
- 病棟（集中治療室）へ行った後も遮光管理を継続し、SpO<sub>2</sub>モニタリングが不要になった時点でセンサーを外す

## まとめ

PDTは、光感受性物質と低出力レーザーを組み合わせることで、腫瘍や新生血管を選択的に破壊する優れた治療法である一方、全身の皮膚が長期間光線過敏状態となるため、周術期管理には独自の注意点を要する。とくに、麻酔管理において不可欠なパルスオキシメータは、660nm付近の赤色光を発しており、光感受性物質が残存する皮膚に対して長時間照射されることで、局所的な化学的熱傷や圧挫傷を引き起こし得る。

クリップ式センサーは、装着・指の入れ替えが容易である一方、強い挟み込み圧や脱落のしやすさ、再使用による衛生面の懸念などの問題を抱えている。貼付式センサーは、指以外の部位にも装着可能で、圧迫が分散し、末梢循環不良例でも感度が良いという利点を有するが、従来は「貼り替えにくい」点が課題であった。

粘着性が維持されることで複数回の張り替えが容易な貼付式センサーであるOxySoft™は、これらのギャップを埋めるデバイスとして、PDT症例の麻酔管理において非常に有用である。適切な遮光管理と組み合わせることで、

- パルスオキシメータ関連熱傷・圧挫傷のリスクを低減しつつ
  - 長時間にわたる安定したSpO<sub>2</sub>モニタリングを維持し
  - 患者の安全性と快適性を両立させる
- ことが可能となる。

今後、PDTの適応拡大とともに、こうした特殊な条件下でのモニタリングに関する知見はますます重要になると考えられる。麻酔科医は、単に「SpO<sub>2</sub>が表示されていれば良い」のではなく、「そのモニタリング方法が患者の皮膚や組織にどのような負荷を与えているのか」を常に意識し、デバイスの選択と運用方法を工夫していく必要がある。その意味で、OxySoft™は、PDT時代の周術期管理をアップデートするうえで、きわめて有用な選択肢の一つと言えるだろう。



## 参考文献

- 1) 玉置 将司, 大橋 真也, 廣橋 研志郎, 吉岡 正博, 天沼 裕介, 武藤 学. 「レザフィリンPDTにおける光線過敏症対策」.  
『日本レーザー医学会誌』2019年 40巻 1号: 62-66
- 2) Farber, Neil E, McNeely J, et al. Skin Burn Associated with Pulse Oximetry during Perioperative Photodynamic Therapy.  
Anesthesiology 84:983-985, 1996
- 3) Ino Y, Nakashima M, Morita T, et al. Skin burn related to pulse oximetry during photodynamic therapy using talaporfin sodium.  
JA Clin Rep 4, 69, 2018
- 4) Wille J, Braams R, van Haren WH, et al. Pulse oximeter-induced digital injury: Frequency rate and possible causative factors.  
Crit. Care Med. 28: 3555-3557, 2000.
- 5) Ceran C, Taner OF, Tekin F, et al. Management of pulse oximeter probe-induced finger injuries in children:  
report of two consecutive cases and review of the literature.  
J Pediatr Surg. 47:e27-9, 2012 doi: 10.1016/j.jpedsurg.2012.06.033.

使用目的又は効果、警告・禁忌を含む使用上の注意点等の情報につきましては製品の電子添文をご参照ください。

© 2026 Medtronic. Medtronic及びMedtronicロゴマークは、Medtronicの商標です。  
TMを付記した商標は、Medtronic companyの商標です。

## Medtronic

お問い合わせ先  
コヴィディエンジャパン株式会社

Tel : 0120-998-971  
medtronic.co.jp

販売名: ネルコアセンサDS100A  
医療機器届出番号: 13B1X00069PS003A  
販売名: ネルコアオキシセンサIII  
医療機器届出番号: 13B1X00069PS006A  
製造販売元: コヴィディエンジャパン株式会社

mt-prqu(93)2601  
RMS\_2025\_1793-A