

歯科静脈麻酔におけるカプノグラフィの有用性



水田 健太郎 先生

東北大学大学院歯学研究科 歯科口腔麻酔学分野

ご略歴

平成11年 3月 東北大学歯学部卒業
平成15年 3月 東北大学大学院歯学研究科
博士課程修了 博士(歯学)
平成15年 4月 東北大学病院 障害者歯科治療部 医員
平成16年 4月 日本学術振興会特別研究員(PD)
平成17年10月 コロンビア大学医学部 麻酔科学講座
Postdoctoral Research Fellow
平成19年 4月 東北大学大学院歯学研究科
歯科口腔麻酔学分野 助教
平成23年10月 同 講師
平成26年 5月 同 准教授
平成30年11月 同 教授

資格

日本歯科麻酔学会 指導医、歯科麻酔専門医、認定医
日本障害者歯科学会 指導医

役職

日本歯科麻酔学会 常任理事
日本歯科麻酔学会雑誌 編集長
日本障害者歯科学会 代議員

気道が術野であるという歯科特有のリスク

近年、静脈麻酔や静脈内鎮静法の需要は着実に高まっている。プロポフォールやミダゾラム、デクスメトミジンをを用いた鎮静は、患者の不安や疼痛、不快な反射を抑え、術野の安定に大きく寄与する一方、用量依存性に呼吸中枢を抑制し、上気道の開大筋群も弛緩させる。歯科医療では口腔そのものが術野であり、気道と術野が物理的に重なり合う。また、開口器の使用や頭位の変化も上気道閉塞を助長する。気管挿管による確実な気道確保を行わない「非挿管・自発呼吸下」の管理では、中枢性呼吸抑制や上気道閉塞をいかに早く捉え、低酸素血症に至る前に介入できるかが、安全の成否を分ける。2026年に日本歯科医学会が公表した「歯科診療における静脈麻酔等に関する基本的な考え方」でも、麻酔を担当する歯科医師は麻酔管理に専念し、治療を行う歯科医師とは別であることが望ましいとされている^[1]。多くの施設ではこの分業が実践され、術者は術野に専念し、歯科麻酔科医が全身状態と換気の監視を担う。すなわち患者の呼吸を見守る「専従の眼」が置かれているわけだが、その眼が何を頼りに換気を評価するのが、麻酔管理の質、ひいては鎮静中の患者の安全を大きく左右する。

なぜパルスオキシメータだけでは間に合わないのか

パルスオキシメータは「酸素化」の指標であって「換気」そのものを反映するものではない。この違いは、鎮静時に日常的に行われる酸素投与によって、かえって危険な形で顕在化する。特に酸素投与下では、無呼吸や気道閉塞が起きても、肺内酸素が消費され SpO_2 が下がり始めるまでに数分のタイムラグが生じる^[10]。アラームが鳴った時点で、すでに低換気状態は数分持続しており、そこから先は酸素解離曲線の急峻な部分に入るため SpO_2 は一気に低下する。酸素を投与しているほど安心に見えて、実は低換気の発見が遅れる——この逆説こそ、酸素化指標だけに頼ることの危うさである。

中等度鎮静や静脈内鎮静を対象とした複数のメタアナリシスによると、標準監視にカブノグラフィを加えることで有害呼吸事象の検出感度が高まり、低酸素血症の発症リスクが約3割低下することが示されている^[2,3]。13件のランダム化比較試験を統合した別の解析でも、軽度・重度いずれの低酸素血症のリスクも有意に低下し、用手換気を要する頻度も減少することが示されている^[4]。プロポフォール鎮静下で消化管内視鏡検査を受ける高齢者を対象としたランダム化比較試験でも、同様に低酸素血症の発生率が有意に減少することが報告されている^[5]。

カブノグラフィは「換気」を早期に映し出す

カブノグラフィは換気の状態をリアルタイムに描き出す。低換気が始まれば波形の高さや形、呼吸数が変化し、無呼吸では波形は直ちに消失する。 SpO_2 の低下より早く異変を知らせる^[10]ため、監視を担う歯科麻酔科医には介入のための貴重な時間が生まれる。小児鎮静を対象にした研究でも、カブノグラフィがパルスオキシメータより早期に呼吸抑制を検知できることが示されている^[6]。大切なのは、数値の絶対値よりも、鎮静開始時に得られた正常波形を基準に、そこからの変化を連続的に追うことである。

熟練の感覚を客観的な波形へ

従来、換気を評価する手段は、胸腹部の呼吸運動の視診や前胸部や頸部の呼吸音の聴取といった、熟練した歯科麻酔科医の眼と耳に支えられた古典的手法に頼ってきた。実際、日本歯科医学会の「歯科診療における静脈麻酔等に関する基本的な考え方」でも、動脈血酸素飽和度のモニタリングとあわせて、目視による呼吸状態（胸郭の動き、呼吸音など）の確認が重要とされている^[1]。しかし歯科特有の環境ではこれらの古典的手法には限界がある。覆布は胸郭運動の視認を妨げ、タービンやエンジンの作動音、バキューム音は聴診を妨げる。また、視診や聴診は観察者の経験や主観に左右されやすく、連続的な記録としても残しにくい。

カブノグラフィは、この熟練の感覚を、連続的・客観的・記録可能な波形へと置き換えることが出来ると期待される。これは熟練者の技を否定するものではなく、その判断を誰もが追える形で支え、チーム全体の安全水準の底上げに貢献するものである。さらに、多くの生体情報モニタに標準搭載される心電図インピーダンス法と組み合わせることで、原因の切り分けができる。舌根沈下などの閉塞性無呼吸では胸郭の動きが残るためインピーダンス法は「呼吸あり」と誤認しがちだが、胸郭運動の有無と気流（カブノグラム）の有無を突き合わせれば、閉塞性か中枢性かを判別し、下顎挙上か麻酔薬の投与調整かという「次の一手」を決められる。

歯科静脈麻酔の新設

鎮静中の換気モニタリングの重要性は国際的なコンセンサスとなっている。米国麻酔科学会 (ASA) の中等度鎮静ガイドラインは、患者・手技・機器の制約がない限りカブノグラフィによる継続的監視を強く推奨しており^[7]、欧州麻酔学会 (ESA / ESAIC) も同様の立場をとる^[8]。

国内でも、令和8年度の診療報酬改定で「歯科静脈麻酔」が新設された^[9]。歯科静脈麻酔は、意識のある状態を保つ従来の静脈内鎮静法とは異なり、意図的に意識消失をきたす「深鎮静」の一種として位置づけられている^[1]。これに合わせて日本歯科医学会が示した基本的な考え方では、麻酔深度モニタとあわせて、終末呼気炭酸ガス濃度を測定する換気モニタ (EtCO_2 等) を実施することが、歯科静脈麻酔の安全性を高めるために推奨されている^[1]。留意事項通知でも、呼吸抑制時に速やかに気道確保へ移行できる準備のうえ、「目視及び酸素飽和度測定又は終末呼気炭酸ガス濃度測定」による十分な監視下で、患者監視に専念する歯科医師を置いて実施することが求められている^[9]。

Microstream™テクノロジーと現場の運用

歯科治療では術野が口腔内にあるため、サンプリングは経鼻で行う。しかし、鼻閉や恒常的な口呼吸の患者では、鎮静開始当初から有効な呼吸を捕集できず、そもそも波形が立たない。これは経過中の異変ではなく鎮静開始当初からの捕集の問題であるため、麻酔導入時にベースライン波形が得られているかを確認し、得られない症例ではEtCO₂を過信せずSpO₂・胸部視診や聴診と併読する。逆に、いったん良好な波形が得られている症例で経過中に振幅が低下・平低化した場合、上気道閉塞を強く示唆する所見であり、この時こそインピーダンス法との併用が鑑別に活きる。

コヴィディエンのMicrostream™テクノロジーは、CO₂の吸光スペクトルに一致する4.2~4.3μmの赤外光を単一に近い波長で用いる方式 (IR Micro beam) を採用しており、亜酸化窒素や他の麻酔ガス、水分による影響を受けにくい。また、15μLの小容量サンプルセルと内径1.0mmの細いサンプリングチューブを組み合わせることで、わずか50mL/minという低いサンプリング量を実現し、通常のサイドストリーム方式で課題となりやすい遅延時間を短縮するため、頻呼吸にも対応しやすい。非挿管用フィルターライン (Microstream™ Advance) は、コネクタ部の0.2μm疎水性フィルタによりサンプリングガス中の水分を分離し、本体への水分侵入を防ぐことで、安定した連続監視を支える。それでもなお波形・視診・聴診・SpO₂を突合する運用が重要である。波形変化を認めた際の対応 (声かけ、下顎挙上、投与中止、応援要請) をチームで標準化しておくことも欠かせない。

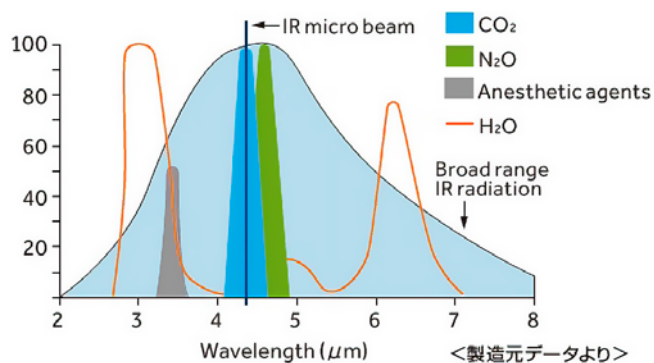


図1

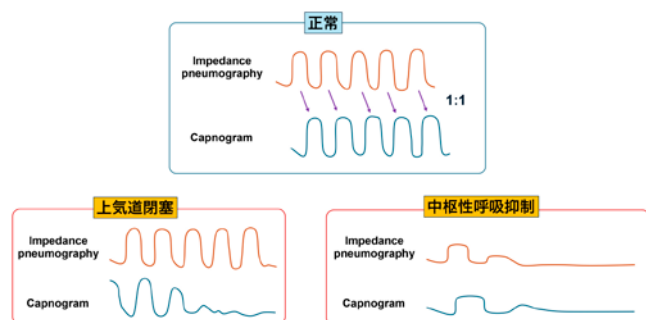


図2 波形の解説 (Capnogramと心電図impedance波形)

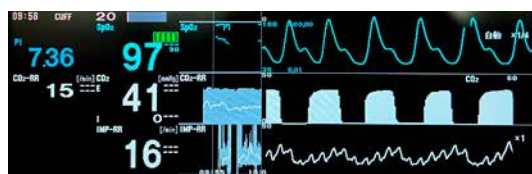
写真1 鼻カニューラ (マイクロストリームアドバンス鼻O₂)

写真2 正常波形

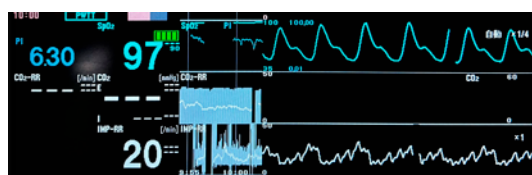


写真3 上気道閉塞

心電図インピーダンス法 (impedance pneumography) の波形はあるが、カプノグラムは描出されていない

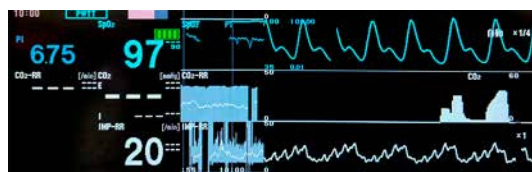
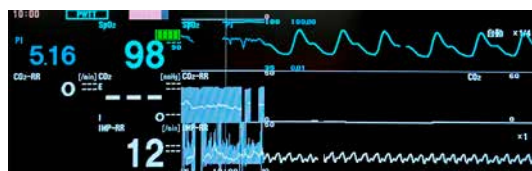
写真4 上気道閉塞の解除によるカプノグラムの再描出
心電図インピーダンスの波形はあり、カプノグラムは途中から描出

写真5 中枢性無呼吸

心電図インピーダンスの波形、カプノグラムの双方が描出されていない

当院での実践 — 全例装着と遠隔モニタリング

当院では、歯科静脈麻酔および静脈内鎮静法の全例にカプノグラフィを装着し、さらに、バイタルサインの遠隔モニタリングの体制を構築している。生体情報モニタに、酸素投与とサンプリングを兼ねた鼻カニューラ（マイクロストリームアドバンス鼻O₂）を接続することで、酸素投与を継続しつつEtCO₂を測定できる。さらに、手術室の麻酔器に付属する生体情報モニタ、歯科外来の生体情報モニタ、手術部の歯科麻酔科医室に備え付けたモニタ、可搬式端末（iPad）などの複数の画面に、SpO₂・心電図、血圧とともにカプノグラムの波形を表示できるシステムを導入した。これにより、実際に静脈麻酔を担当している歯科麻酔科医だけでなく、離れた場所にいる他の歯科麻酔科医も、いつでも患者のバイタルサインを確認でき、波形の変化を追うことができる。この体制の利点は、単に「見える」ことにとどまらない。波形を共有できるからこそ、離れた場所にいる歯科麻酔科医が、画面越しに状況を把握した上で具体的な指示を出すことができる。

経験の比較的浅い歯科麻酔科医が管理している症例でも、上級医が波形を見ながら助言や指示を行えるため、教育的な意義は大きい。また、監視体制を補い、異変の早期発見と迅速な応援要請につながられるという点で、安全性の向上にも直結する。視診や聴診は患者のそばに居てこそ成り立つが、波形は離れていても画面を通じて共有できる。これが、遠隔監視の場面でカプノグラフィが際立つ理由である。

おわりに

歯科に限らず鎮静領域全般でカプノグラフィの有効性を示すエビデンスが積み上がり、監視手段の一つとして明記された今、その実装を進めることが、質の高い麻酔管理を担保し、患者安全の向上に寄与する重要な方策である。

参考文献

1. 日本歯科医学会. 歯科診療における静脈麻酔等に関する基本的な考え方. 令和8年3月.
2. Parker W, Estrich CG, Abt E, Carrasco-Labra A, Waugh JB, Conway A, Lipman RD, Araujo M. Benefits and harms of capnography during procedures involving moderate sedation: a rapid review and meta-analysis. J Am Dent Assoc. 2018;149(1):38-50.e2.
3. Askar H, Misch J, Chen Z, Chadha S, Wang HL. Capnography monitoring in procedural intravenous sedation: a systematic review and meta-analysis. Clin Oral Investig. 2020;24(11):3761-3770.
4. Saunders R, Struys MMRF, Pollock RF, Mestek M, Lightdale JR. Patient safety during procedural sedation using capnography monitoring: a systematic review and meta-analysis. BMJ Open. 2017;7(6):e013402.
5. Lian Q, Wu J, Zhang J, Zhang Y, Cheng X, Yang X, Zhou R, Chen Y, Ding W, Wang G, Yu W, Zhang J, Su D. Capnography monitoring reduces incidence of hypoxia in older patients undergoing gastrointestinal endoscopy under propofol sedation. Endosc Int Open. 2025;13.
6. Català Altarriba L, Yeh Hsi S, Ravit AM, Brió Sanagustín S, González-Rioja X. Non-Invasive Capnography Versus Pulse Oximetry for Early Detection of Respiratory Depression During Pediatric Procedural Sedation: A Prospective Observational Study. Children (Basel). 2025;12(7):938.
7. American Society of Anesthesiologists Task Force on Moderate Procedural Sedation and Analgesia. Practice Guidelines for Moderate Procedural Sedation and Analgesia 2018. Anesthesiology. 2018;128(3):437-479.
8. Hinkelbein J, Lamperti M, Akeson J, Santos J, Costa J, De Robertis E, Longrois D, Novak-Jankovic V, Petrini F, Struys MMRF, Veyckemans F, Fuchs-Buder T, Fitzgerald R. European Society of Anaesthesiology and European Board of Anaesthesiology guidelines for procedural sedation and analgesia in adults. Eur J Anaesthesiol. 2018;35(1):6-24.
9. 厚生労働省. 令和8年度診療報酬改定の概要【歯科】（令和8年3月5日版）、および同実施上の留意事項について（通知）
10. Gallagher JJ. Capnography Monitoring During Procedural Sedation and Analgesia. AACN Adv Crit Care. 2018;29(4):405-414.

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：カプノストリーム35
医療機器認証番号：228AABZX00035Z00
製造販売元：コヴィディエンジャパン株式会社

mt-prqu(99)2608
RMS_2026_1863-A