

## ● 講 座 ●

呼吸管理のデバイス  
非挿管患者の換気モニター

相嶋一登

キーワード：カプノグラフィー，鎮痛鎮静，呼吸抑制

## I. はじめに

がん性疼痛や術後疼痛緩和のための鎮痛薬投与や内視鏡検査などにおける鎮痛鎮静が一般病棟や検査室などで多く行われるようになってきている。一方で一般病棟や内視鏡室における呼吸循環に関する有害事象が報告されている。Sharma らの報告<sup>1)</sup>によれば、消化器内視鏡治療および検査を受けた患者の14%で偶発事象が報告され、0.9%が呼吸循環に関する事象であった。一般病棟や内視鏡室では、手術室、ICUと比較して生体情報監視装置の機能や数量が不十分である場合が多く、不十分な設備や医療機器の中で鎮痛鎮静管理が行われている。鎮静下での内視鏡診療における患者死亡に関連する要因としては呼吸抑制と気道閉塞とされており、米国麻酔学会の報告によれば、有害事象の発生頻度は、手術室の2倍と報告されている。

鎮痛鎮静に付随する呼吸抑制や気道閉塞を早期に発見するためには、患者観察と生体情報モニタリングの充実が必要であり、特に呼吸数の計測と持続的な呼気二酸化炭素分圧測定（カプノグラフィー）が推奨されている<sup>2)</sup>。本稿ではそのうち、非挿管患者に対する換気モニターとして、カプノグラフィーおよびアコースティック呼吸モニタリングについて解説する。

## II. 換気モニターの必要性

非挿管患者に対する呼吸モニタリングとして、最も

多く使用されているのはパルスオキシメトリである。パルスオキシメトリは低酸素血症を発見するには有用であるが、特に酸素投与下における呼吸抑制や気道閉塞による低換気を発見することは困難であり<sup>2-5)</sup>、カプノグラフィーによる換気モニタリングが推奨されている。

図1は低換気が生じた場合の酸素投与の有無によるSpO<sub>2</sub>の変化の違いを表したグラフである。鎮痛鎮静薬などによる呼吸抑制が始まると一回換気量や呼吸数が低下する。すると、肺胞換気量が低下し動脈血二酸化炭素分圧が上昇を続けることになる。低換気によって肺胞気二酸化炭素分圧も増加するため肺胞気酸素分圧が低下する（式1）。この機序によって動脈血酸素飽和度が低下してくる。パルスオキシメトリではこれを検出することになる。

パルスオキシメトリのみでモニタリングしている場

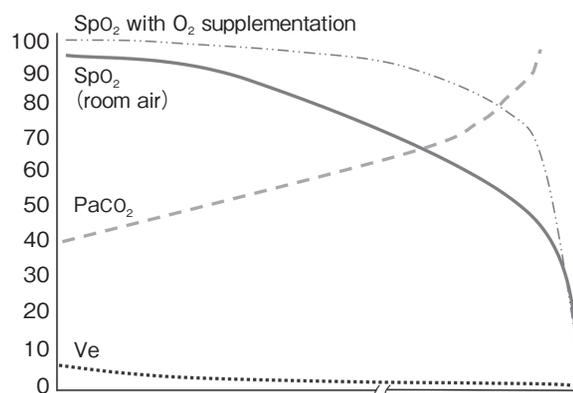


図1 換気量とPaCO<sub>2</sub>、SpO<sub>2</sub>の変化の様子（文献4より引用）

合には、SpO<sub>2</sub>が低下すると酸素投与が開始される。すると肺泡気酸素分圧が再び増加しSpO<sub>2</sub>が回復することになり、一見問題は解決されたようにみえる。しかし、もとの原因の肺泡低換気は改善していないためPaCO<sub>2</sub>の増加とこれに伴う呼吸性アシドーシスは進展することになる。この点がパルスオキシメトリのみのモニタリングの危険性である。SpO<sub>2</sub>低下の原因として低換気の存在が完全に否定できない場合には、換気の指標としてのCO<sub>2</sub>の評価が必要である。

$$PAO_2 = FI_{O_2} \times (P_H - PH_2O) - PaCO_2/R \quad \dots (式1)$$

PAO<sub>2</sub>: 肺泡気酸素分圧、P<sub>H</sub>: 大気圧、PH<sub>2</sub>O: 飽和水蒸気圧、R: 呼吸商

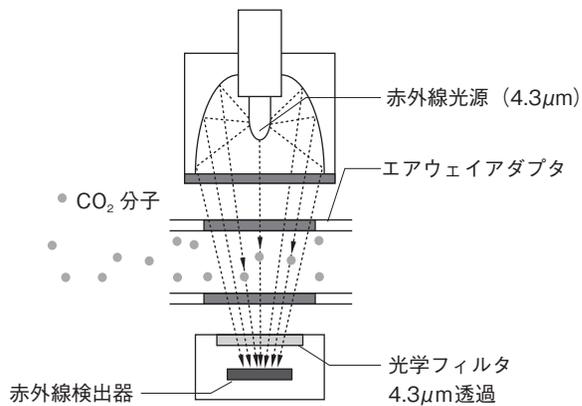


図2 カプノグラフィーの測定原理  
(日本光電工業社より提供)

Rhodriらは手術室外における鎮静を起因とした呼吸に関する有害事象とカプノグラフィーによるモニタリングの関連について多変量解析を行い、その有用性を示している<sup>6)</sup>。この論文によれば、カプノグラフィーによるモニタリングにより、重篤な動脈血酸素飽和度の低下を防止でき、補助換気を回避できるとしている。

### Ⅲ. カプノグラフィー

#### 1. カプノグラフィーの原理

二酸化炭素が4.3μmの波長の赤外線吸収する性質を利用して、呼気中の二酸化炭素分圧を測定している。この原理を赤外線吸収分光法という(図2)。測定するガスのサンプリング法として以下の2つの方法がある。従来は気管挿管患者がカプノグラフィーの対象であったが、非挿管患者でもカプノグラフィーが可能になるようにガスのサンプリングラインとしてのプロングやマスクが開発され市販されている。

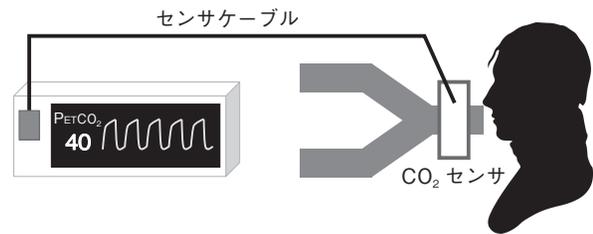


図3 メインストリーム法

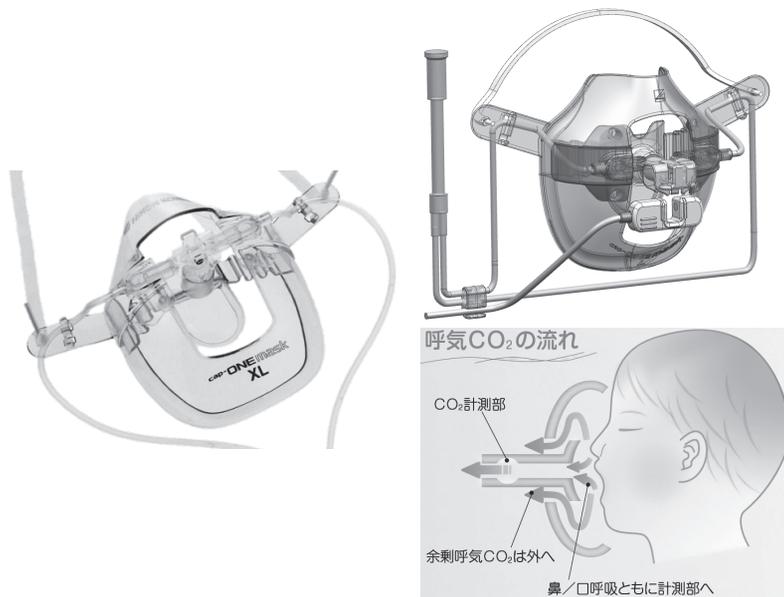


図4 メインストリーム法による非侵襲カプノグラフィー Cap-ONE™ マスク  
(日本光電工業社より提供)

## 2. メインストリーム

センサを呼吸回路や患者の鼻孔付近に設置して二酸化炭素分圧を測定する方法である（図3）。センサの重量により呼吸回路などの屈曲や回路はずれが起こる可能性がある。またエアウェイアダプタの装着による死腔の増大も問題となる。さらに死腔によるCO<sub>2</sub>再呼吸を防止するために酸素投与が必要となる。しかし、応答遅延がなく製品によってはベッドサイドモニターに接続して使用できることから、センサケーブルのみを購入すればよい。病棟における使用ではナースステーションなどの離れた場所からも遠隔監視が可能である。

代表的な製品は日本光電工業社のCap-One™マスクである（図4）。

## 3. サイドストリーム

サンプリングチューブを用いて、ガス分析装置にガスを吸引して分析する方法である（図5）。メインスト

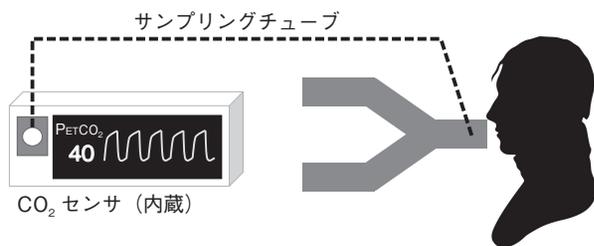


図5 サイドストリーム法

リーム法と比べて呼吸回路にセンサを装着する必要がないため、センサの重量の影響を受けない。さらにエアウェイアダプタも不要であるため死腔の増大にならない。他のガス分析装置を組み込めば麻酔ガスなどのガス濃度を併せて測定することができる。一方でメインストリーム法と比較して応答に遅延が発生する。

サイドストリーム法では専用の測定機器が必要であり、メインストリームに比べて初期費用がかかる。また測定機器がベッドサイドモニターなどと連携できない場合には遠隔監視が困難となるため、使用場所や用途に制限が出る。

代表的な製品はコヴィディエンジャパン社のCapnostream™である。プロングやマスクにセンサを装着しないため、軽量であり、死腔が少なく必ずしも酸素投与を必要としない。酸素を並行して投与する場合にはこの影響を受けないように酸素投与とサンプリングラインの2系統のラインが用意されている（図6）。さらに内視鏡検査中の使用を目的としたバイトブロックと一体化した製品も発売されている（図7）。

## IV. アコースティック呼吸モニタリング

頸部に装着したマイクロフォンおよびパルスオキシセンサによる脈波の変動から呼吸数を測定する技術が実用化されている。

頸部に装着したマイクロフォンにより気管呼吸音を

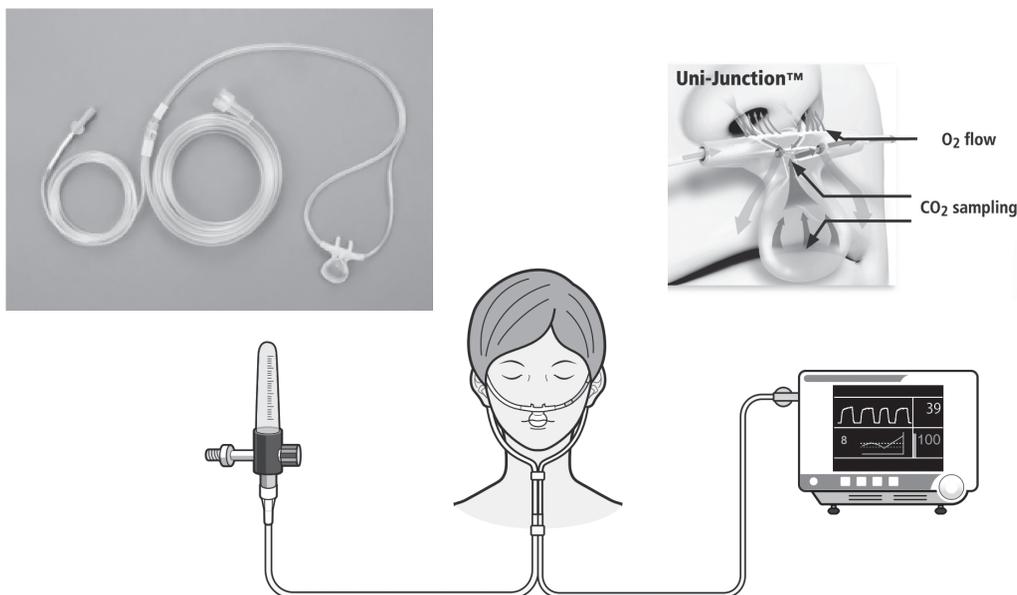


図6 サイドストリーム方式におけるサンプリング

酸素投与と並行してカブノグラフィーを行うことが可能。（コヴィディエンジャパン社より提供）



図7 バイトブロックに組み込まれたCO<sub>2</sub> サンプリングライン  
内視鏡検査・治療中にカプノグラフィーによる換気モニタリングが可能。  
(コヴィディエンジャパン社より提供)



図8 アコースティック呼吸センサと音声信号  
(マシモジャパン社ホームページより引用)



図9 アコースティック呼吸センサの装着イメージ  
頸部に装着し、気管呼吸音を測定する。  
(マシモジャパン社ホームページより引用)

測定することにより呼吸数を測定 (図8・9) し、患者の発声や周囲の雑音に対して脈波で補正するというものである。

本法による呼吸数測定は、インピーダンス法やパルスオキシメトリよりも早期に呼吸異常を検出する<sup>7)</sup>とされており、非侵襲的換気モニターとしての有用性が期待されている。

## V. ま と め

内視鏡センターや一般病棟では、必ずしも呼吸管理に十分な経験を有しておらず、かつ不十分な人員のもとで鎮痛鎮静管理が行われていることが考えられる。心電図モニターをしていればインピーダンス法による呼吸数測定が可能であるが、その検出能力は決して高くない。看護師などによる人的測定は、人員が限られ

ている一般病棟や検査室では困難な場合が多いと考えられる。特に鎮痛鎮静を行っている患者については、パルスオキシメトリに加えて換気モニターの積極的な活用が患者安全に貢献する (表1) と考えられる。

表1 手術室外における換気モニタが推奨される場面

- 鎮静下の気管支鏡、消化器内視鏡検査、治療
- 術後疼痛管理
- 鎮静下 MRI 検査 (特に小児患者)
- 血管内治療、カテーテルアブレーション

本稿の著者には規定されたCOIはない。

## 参考文献

- 1) Sharma VK, Nguyen CC, Crowell MD, et al : A national study of cardiopulmonary un-planned events after GI endoscopy. *Gastrointest Endosc.* 2007 ; 66 : 27-34.
- 2) Maurer WG, Walsh M, Viazis N : Basic requirements for monitoring sedated patients : blood pressure, pulseoximetry, and EKG. *Digestion.* 2010 ; 82 : 87-9.
- 3) Fu ES, Downs JB, Schweiger JW, et al : Supplemental oxygen impairs detection of hypoventilation by pulse oximetry. *Chest.* 2004 ; 126 : 1552-8.
- 4) Lynn LA, Curry JP : Patterns of unexpected in-hospital deaths : a root cause analysis. *Patient Saf Surg.* 2011 ; 5 : 3.
- 5) 小原勝敏, 春間 賢, 入澤篤志ほか : 内視鏡診療における鎮静に関するガイドライン. *Gastroenterol Endosc.* 2013 ; 55 : 3822-47.
- 6) Saunders R, Struys MMRF, Pollock RF, et al : Patient safety during procedural sedation using capnography monitoring : a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open.* 2017 ; 7 : e013402.
- 7) 小林由佳, 大場一英, 工藤 淳ほか : Masimo Rainbow Acoustic Respiration Rare™の無呼吸の検出と分類における有用性の検討. *人工呼吸.* 2017 ; 34 : 61-5.