

**Medtronic**

# Respiratory Compromise Capnography

Application Guide



はじめに	1
1. What is Respiratory Compromise? Respiratory Compromise 呼吸のアセスメント	2
2. What is Capnography? Capnographyとは? Capnographyの測定原理	4
3. Clinical Situations：鎮痛・鎮静 術後の鎮痛・鎮静 術後回復室と搬送 一般病棟 手術室以外の鎮痛・鎮静 内視鏡、心臓カテーテル室、救急領域	6
4. Clinical Situations：院内急変 一般病棟における急変	12
5. Clinical Situations：人工呼吸 人工呼吸：安全管理、患者の評価、ウィニング	14
6. Clinical Situations：小児 小児の呼吸の特徴 鎮痛と鎮静：検査・処置 人工呼吸：安全管理（気管チューブ）	16
Reference	20

## はじめに

入院中の患者さんがRespiratory Compromise (呼吸機能障害) を併発した場合、そうでない場合と比べて死亡率は大幅に上昇し、入院期間の延長や治療費の増加などによる医療コストの増大が指摘されています。

急変するリスクの高い、あるいは重篤な患者さんの呼吸状態の変化をより早く検知しアセスメントするために、『何か変』と感じる医療者の主観的な気づきに加え、動脈血酸素飽和度 (SaO<sub>2</sub>/SpO<sub>2</sub>) など酸素化の評価や呼吸数などの客観的な換気の評価が重要です。

換気モニタであるカプノグラフィは、これまで主に手術室で麻酔科医によって使用されてきましたが、多くの専門家は、挿管・非挿管にかかわらず、安全管理の観点からも手術室以外における有用性に着目しています。近年、関連学会や団体から、カプノグラフィ使用に関する多くのステートメント (声明) が発表されています。

このアプリケーションガイドでは、特に換気の観察およびモニタリングが重要となる臨床領域を中心に、カプノグラフィをどのように活用できるかということについてまとめています。

本ガイドは、以下の4つの臨床領域と、領域ごとに3つの観点から構成されています。

### 【臨床領域】

- 鎮痛・鎮静
- 院内急変
- 人工呼吸
- 小児

### 【構成項目】

#### Clinical Issues and Challenges :

臨床における現状や問題点、課題について取り上げました。

#### Clinical Guidelines and Evidences :

可能な限り、各領域におけるガイドラインやエビデンスに基づくカプノグラフィの有用性を示しました。

#### How to use Capnography?

各領域におけるハイリスク症例やカプノグラフィの活用におけるアセスメントのポイントをまとめました。

# 1. What is Respiratory Compromise?

## Respiratory Compromise

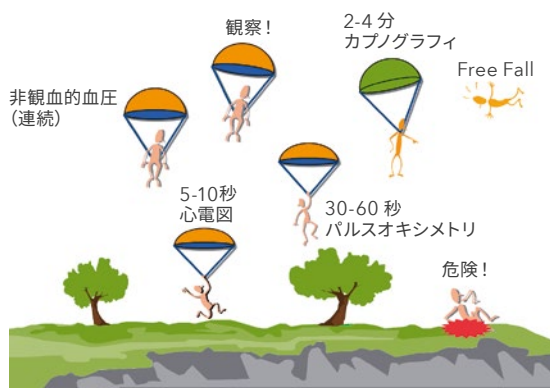
### Respiratory Compromiseは死亡率を増加させ、医療コストを増大させる

急変する危険性の高い呼吸機能障害を総称して、Respiratory Compromiseといい、具体的には呼吸抑制や呼吸停止、呼吸不全などを意味します。入院中の患者さんがRespiratory Compromiseを併発した場合、そうでない場合と比べて死亡率は大幅に上昇し、入院期間の延長や治療費の増加などによる医療コストの増大が指摘されています<sup>1)</sup>。また、多くの専門家はいくつかの事象は予防可能であり、最終的に医療コストの削減にもつながる可能性があるとしています。したがって、異常の早期発見と適切な介入が重要で、まずはこのような事象やハイリスク患者をしっかりと認識することが、その第一歩と考えます。

### Respiratory Compromiseのハイリスク患者

特に注意すべき患者さんは、肝臓疾患やうっ血性心不全、がん、慢性閉塞性肺疾患、心血管疾患などの併存疾患を持つ高齢者です。その他の危険因子として、肥満や睡眠時呼吸障害、オピオイドの投与があります<sup>1)</sup>。

換気の変化：いつ安全なパラシュートが開かれるか？<sup>2)</sup>



### TIPS 1：酸素投与中は特に低換気に要注意

鎮痛薬や鎮静薬による呼吸抑制など換気に関する呼吸状態の変化においては、パルスオキシメータでは必ずしもFirst Alertにはなりません。特に酸素投与下では低換気の初期段階であっても、SpO<sub>2</sub>は維持されているため異常に気づきにくく、呼吸状態を過大評価してしまうという落とし穴があります。したがって、パルスオキシメータによる酸素化の評価のみでは限界があり、呼吸数や呼気の二酸化炭素分圧を連続的にモニタリングするなど別に換気の評価を行うことが大切です。

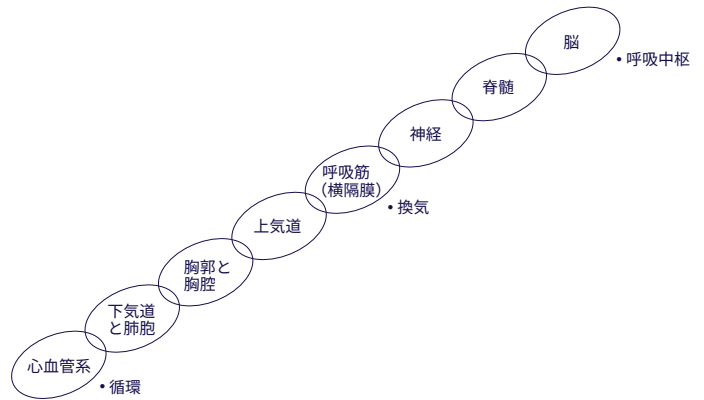
### 人工呼吸管理の患者

気管チューブや気管切開チューブなどを留置し、人工呼吸管理をしている患者さんでは、チューブや機器トラブルによる換気障害は生命に直結するため、よりいっそうの安全管理が求められます。

## 呼吸のアセスメント

### 呼吸とは

呼吸とは、酸素を取り入れ、二酸化炭素を排泄する過程です。これら一連の働きは、呼吸中枢・換気・循環が効率よく機能して維持されます。



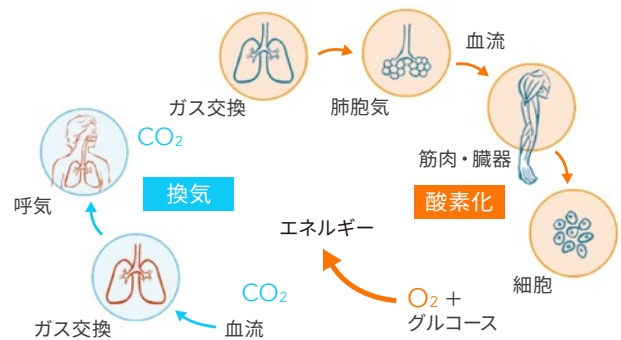
### 酸素化と換気

#### PaCO<sub>2</sub>の観察は換気の指標として重要

組織で生成された二酸化炭素の多くは、循環によって肺に運ばれ、換気運動によって呼出されます。

生命維持に必要な不可欠な酸素は、同じく換気運動によって肺に取り込まれ、循環によって組織に届けられます。したがって、酸素や二酸化炭素の出入りを担う換気と、酸素を動脈血中に取り込む酸素化は、両輪のような関係にあり、どちらも観察することが大切です。

また、二酸化炭素は換気量に依存します。つまり、換気量が多くなるとPaCO<sub>2</sub>は低下し、換気量が少なくなるとPaCO<sub>2</sub>は上昇します。したがって、PaCO<sub>2</sub>の観察は換気の指標として重要です。



		血液ガス分析	呼吸モニタ	観察
酸素化	呼吸により酸素を動脈血に取り込むこと	PaO <sub>2</sub> 90-100mmHg	パルスオキシメータ (SpO <sub>2</sub> ) 95%～	チアノーゼの有無
換気	ガスの入れ換え 酸素を含んだガスを肺に取り込み、血液から排出された二酸化炭素を含んだガスを体外に呼出すること	PaCO <sub>2</sub> 38-42mmHg	カブノグラフィ (P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> ) PaCO <sub>2</sub> -数mmHg	呼吸数の変化 12-15回/分

### 呼吸数の観察

#### 呼吸数は換気の鋭敏な指標である

増加	低下
低酸素血症 代謝性アシドーシスに対する呼吸代償 組織酸素需要の増大 交感神経興奮状態 (心因性の過換気症候群を含む)	呼吸中枢の抑制 (麻薬・鎮静薬、CO <sub>2</sub> ナルコーシス、中枢神経障害)

血中の酸素が不足すると、呼吸の回数を増やすことで血中酸素濃度が維持されます。SpO<sub>2</sub>は、呼吸数で代償できなくなつてから低下するため、呼吸数の変化よりも遅れて観察される場合があります。したがって呼吸数は換気の鋭敏な指標として重要視されています。しかしながら、臨床においてバイタルサインの記録の中で呼吸数の記録が欠落していることがいくつか報告されています<sup>3)</sup>。呼吸数はベッドサイドで最も簡便に観察できる換気の指標であるため、注意深く目視での観察を行うとともに、変化する危険性のある患者さんでは、観ていない時も連続モニタリングにより監視することが大切です。

# 2. What is Capnography?

## Capnographyとは?

CO<sub>2</sub>と呼吸数をみているカブノグラフィは換気の評価として有用

### 数値と波形

カブノグラフィは、非侵襲的に吸気・呼気中の二酸化炭素分圧 (mmHg/kPa) もしくは濃度 (%) を測定する換気のマニタです。患者の情報は数値 (Capnometry) と波形 (Capnogram) によって得ることができます<sup>4)</sup>。呼吸抑制や気道閉塞などの換気状態を観察する上で、波形を評価することはとても重要です。また、連続波形の間隔を見ることで呼吸回数の指標となります。

#### A ~ B: 呼気の始まり

ガス交換に関与しない死腔のガスが呼出されるため  
CO<sub>2</sub>は0mmHg

#### B ~ C: 呼気 (急峻な上昇)

CO<sub>2</sub>を多く含んだ肺胞気が呼出されるため  
CO<sub>2</sub>は急激に上昇

#### C ~ D: 肺胞プラトー

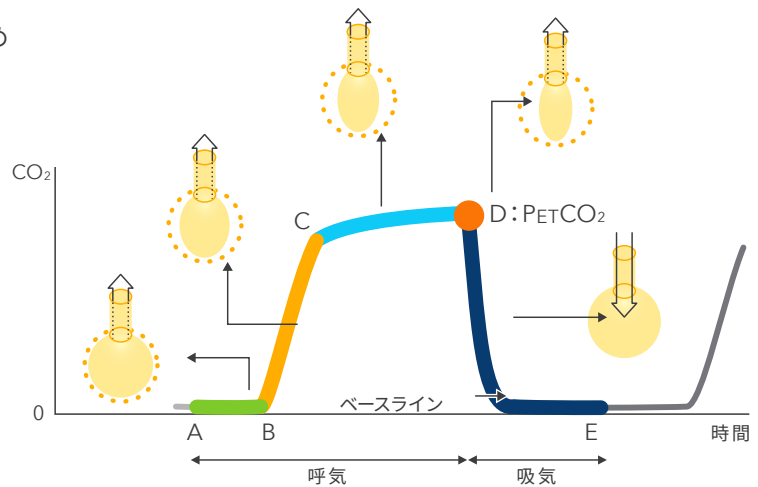
時定数の異なる肺胞から呼気が呼出されるため  
CO<sub>2</sub>が緩やかに上昇

#### D ~ E: 吸気 (急峻な下降)

CO<sub>2</sub>が含まれていないガスが吸気されるため  
CO<sub>2</sub>は急激に0mmHgまで下降する

#### D: P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>

呼気終末二酸化炭素分圧



### CO<sub>2</sub>の産生と排出

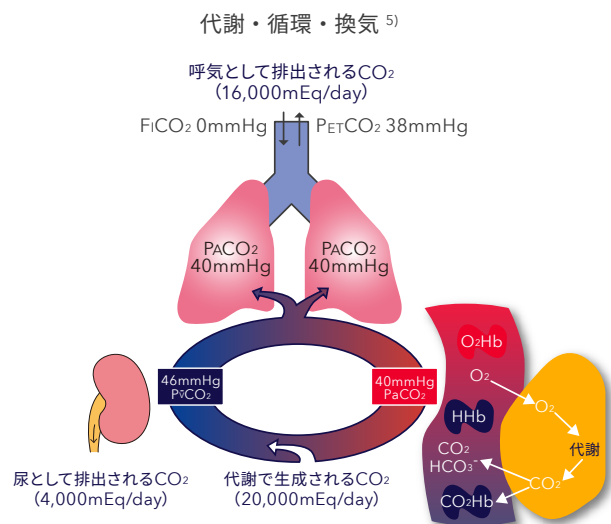
組織でO<sub>2</sub>が消費され代謝によって作られたほとんどのCO<sub>2</sub>は呼気として排出されています。

#### 血液中のCO<sub>2</sub>

- 60 ~ 70%: 重炭酸イオン (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
- 20 ~ 30%: 血中の蛋白質と結合したカルバミノ化合物
- 5 ~ 10%: 血漿に溶解

組織で産生されたCO<sub>2</sub>が循環により肺まで運ばれる過程において、心肺機能に問題がなければ、肺胞気二酸化炭素分圧 (P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub>) と動脈血二酸化炭素分圧 (P<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>) はほぼ等しくなります。加えて、呼気として呼出される呼気終末二酸化炭素分圧 (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>) も近似します。

つまり、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>をモニタリングすることにより換気の状態を把握でき、上記で説明したように代謝や肺血流の状態も反映するため、カブノグラフィは循環・代謝のマニタとしても有用です。



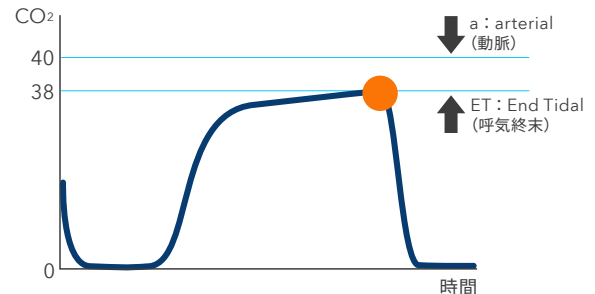
## PaCO<sub>2</sub>とPETCO<sub>2</sub>の較差<sup>4)</sup>

PaCO<sub>2</sub>とPETCO<sub>2</sub>は換気血流比に問題がなければ数値は近似しますが、この2つの数値をみる上で考慮すべき点があります。ガス交換に関与しない解剖学的死腔のCO<sub>2</sub>分圧は0mmHgなので、換気血流比が正常な状態であっても呼気ガスが希釈されるため、PETCO<sub>2</sub>はPaCO<sub>2</sub>よりも少し低くなります。一般的にPaCO<sub>2</sub>とPETCO<sub>2</sub>の較差は2～5mmHg程度になります。

正常 P(a-ET)CO<sub>2</sub> = 2～5mmHg

P(a-ET)CO<sub>2</sub>較差が小さい→換気と血流の比が適切

P(a-ET)CO<sub>2</sub>較差が大きい→死腔換気やシステムリーク

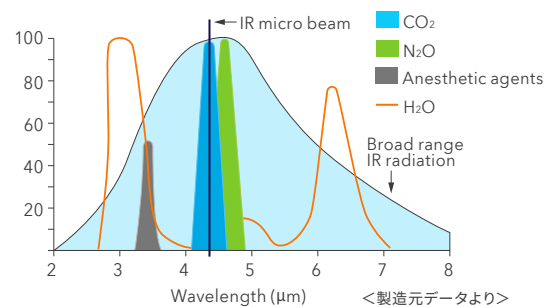


## Capnographyの測定原理

CO<sub>2</sub>は4.26μmの赤外線をよく吸収するという特徴を持っており、カプノグラフィはこの特徴を生かした赤外線吸収法により、ガス中のCO<sub>2</sub>分圧もしくは濃度を測定しています。

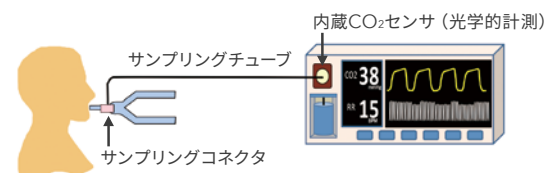
### 標準的測定技術

カプノグラフィには、広域スペクトルの赤外線を用いる機種と、CO<sub>2</sub>の吸光スペクトルに一致する4.2～4.3μmの赤外線を用いる機種があります。また、サイドストリームとメインストリームというふたつの測定方法があります。それぞれに利点や欠点がありますので、その特徴を知って使用することが必要です。



### サイドストリーム

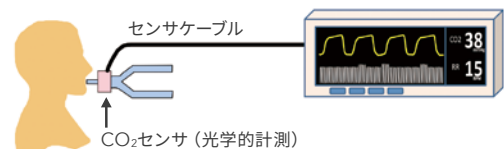
気管チューブと人工呼吸器回路の間にサンプリングコネクタを装着し、そこからサンプリングチューブを介してモニタ本体にガスを吸引して測定する方法です。非挿管下においては、専用サンプリングチューブにより鼻や口などからガスを吸引します。サンプリング量は機種によって異なります。



特徴：挿管・非挿管どちらの患者さんでも使用できるという大きな利点があります。モニタ本体にガスを吸引するため水分を引き込む危険性があり、水分除去のためのフィルタやウォータートラップが必要となります。またサンプリング量が多い機種では、特に新生児や小児など一回換気量が少ない患者さんにおいて、波形や換気量に影響を与えることがあります。

### メインストリーム

気管チューブと人工呼吸器回路の間にアダプタとCO<sub>2</sub>センサを装着し、アダプタを通過するガスに直接赤外線を照射して測定する方法です。



特徴：回路を通過するガスを直接測定しているのでディレイタイムがなく、サンプリングを行わないので換気量への影響などありません。

ほとんどのメインストリームでは挿管患者にしか使用できず、またCO<sub>2</sub>センサが重いためチューブキンクの原因となる場合があります。

# 3. Clinical Situations: 鎮痛・鎮静

## 術後の鎮痛・鎮静

### 術後回復室と搬送

#### Clinical Issues and Challenges

##### 術直後から数時間に低酸素血症、低換気、上気道閉塞などの呼吸イベントが集中している

PACU (post anesthesia care unit : 術後回復室) での呼吸イベント (表) は0.8-6.9%と高い確率で発生し<sup>6)</sup>、イベントが発生するとPACU滞在時間が2倍長くなる<sup>7)</sup>ともいわれています。その原因には、麻酔薬の残存による高二酸化炭素および低酸素による換気応答の低下や上気道閉塞、筋弛緩薬の残存による呼吸筋運動の抑制 (低換気や深呼吸がしにくい) などがあげられ、特にハイリスク症例では注意が必要です。

呼吸イベントの定義

- 低酸素血症 :  $SpO_2 < 90\%$
- 低換気 :  $RR < 8bpm$  or  $PaCO_2 > 50mmHg$
- 上気道閉塞

##### パルスオキシメータによる $SpO_2$ やECG (インピーダンス法) による呼吸数モニタリングには限界がある

呼吸のモニタリングとして $SpO_2$ は有用ですが、術後は酸素投与を行う機会も多く、異常の早期発見という観点では限界があります (P2 TIPS 1参照)。

ECGによる呼吸数測定はインピーダンス法を用いており、胸郭の運動を反映しています。したがって、上気道閉塞では胸郭運動があるため、呼吸数としてカウントする可能性があります。また、ノイズなどの外部干渉や電極位置の影響を受けるなどの限界があります。

#### Clinical Guidelines and Evidences

- PACUに入室したハイリスク群術後患者では $SpO_2$ のみのモニタリングより、呼吸数や $P_{ET}CO_2$ も含めた評価をすることで呼吸イベント兆候の予見率が上がる<sup>7)</sup>

#### How to use Capnography?

〈サンプリングチューブの選択〉

- 呼吸パターンの変調が起こる可能性があるため、鼻口両方からサンプリングできるチューブを選択する
- 酸素投与とサンプリングが同時にでき、希釈の影響を受けにくいチューブを選択する

〈PACUでの呼吸イベントハイリスク症例<sup>6)</sup>〉

- 患者要因 : ASA class  $\geq 2$ 、心不全、高齢、糖尿病等、COPD
- 手技要因 : 胸部手術、腹部手術、上腹部手術、大動脈瘤人工血管置換、脳神経手術、長時間手術、緊急手術、血管手術、頭頸部手術、全身麻酔
- 検査データ : アルブミン  $< 35g/L$

〈活用におけるアセスメントのポイント〉

- 呼吸数の減少や波形が変化した場合には、深呼吸を促し意識や呼吸状態を確認する
- 波形が小さくなった際に呼吸数が増している場合 (浅呼吸)、疼痛や呼吸・循環の異常を疑う



## 一般病棟

### Clinical Issues and Challenges

#### オピオイド投与による呼吸抑制の見落としは高頻度で急変に関わり、重篤なイベントを引き起こす

術後にモルヒネで鎮痛管理を行った2,000例を対象とした調査では、呼吸数減少を認めた症例は8～10回/分：21.8%、6～7回/分：1.6%、5回/分：0.15%<sup>8)</sup>と報告されています。その原因には薬剤の延髄（呼吸中枢）への影響による換気応答の低下や、不穏や不安に対する鎮静薬との併用、PCAポンプの設定や使用法に関連したエラーがあげられています<sup>9,10)</sup>。オピオイド投与による呼吸の変調には特徴があるので、呼吸数だけでなく呼吸リズムやパターンの評価も必要です（P11 TIPS 3参照）。

#### パルスオキシメータと聴診による呼吸数のスポットチェックは呼吸抑制を見落とす

整形外科術後にオピオイドを使用した、呼吸抑制のリスクファクタを1つ以上持つ患者を対象に調査した研究では、カプノグラフィ群では140エピソードを検知したのに対して、パルスオキシメータと聴診による呼吸数のスポットチェックであったコントロール群は、わずか6エピソードでした。さらに、病棟での呼吸抑制の予測因子となったのは、麻酔後回復室における「RR $\leq$ 10bpm」の呼吸数でした<sup>11)</sup>。

### Clinical Guidelines and Evidences

- 酸素投与中はパルスオキシメータ単独ではなくカプノグラフィの使用が推奨されている。さらに、パルスオキシメータやカプノグラフィは間歇的ではなく連続的にモニタリングしなければならない<sup>9,12)</sup>
- 酸素投与を受けている患者における呼吸抑制の早期警告としてカプノグラフィはパルスオキシメータより効果的。その結果PCA中止や拮抗薬（ナロキソン）投与など介入することで患者安全が保持できた。PCA開始後の呼吸イベントは24時間以内に発生し中央値は3.5時間だった<sup>13)</sup>

### How to use Capnography?

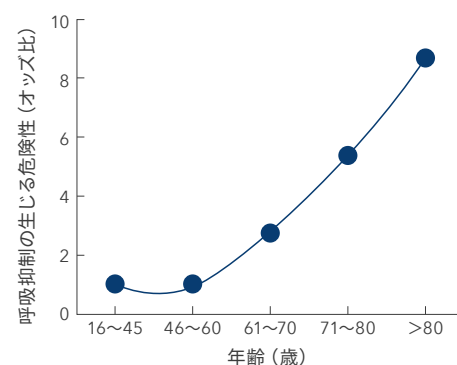
#### 〈サンプリングチューブの選択〉

- 呼吸パターンの変調が起こる可能性があるため、鼻口両方からサンプリングできるチューブを選択する
- 酸素投与とサンプリングが同時にでき、希釈の影響を受けにくいチューブを選択する

#### 〈オピオイドによる呼吸抑制のハイリスク症例〉

- 加齢：65歳以上の患者<sup>10)</sup>
- 睡眠時無呼吸症候群<sup>10)</sup>
- 頭部外傷<sup>10)</sup>
- 肥満<sup>10)</sup>
- パルスオキシメータでは見逃す可能性がある酸素投与中の患者さんやハイリスク呼吸抑制基準を満たす患者さんで、特に夜間睡眠中のカプノグラフィ使用の有用性が強調されている<sup>11)</sup>
- 呼吸不全<sup>10)</sup>
- 鎮静薬との併用
- 酸素投与

年齢別オピオイドによる呼吸抑制が生じる危険性<sup>10)</sup>



#### TIPS 2：オピオイド投与時の効果増強<sup>10)</sup>

何らかの原因で疼痛が軽減した場合や、他の疼痛治療によって疼痛が著しく改善した場合（鎮静薬の使用など）、麻薬性鎮痛薬の投与量に変化がなくても、呼吸抑制が生じることがあり（相対的過量投与）注意が必要です。

#### 〈活用におけるアセスメントのポイント〉

- P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 45mmHg以上はオピオイドによる呼吸抑制を示唆している<sup>14)</sup>
- COPDなどP<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>が日常的に高値の事例では、オピオイド使用前の呼吸数やP<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>値、PaCO<sub>2</sub>とP<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>の較差（P5参照）を把握して経時的に観察し、波形も合わせて評価する

### 3. Clinical Situations: 鎮痛・鎮静

#### 手術室以外の鎮痛・鎮静

##### 内視鏡、心臓カテーテル室、救急領域

##### Clinical Issues and Challenges

手術室外における呼吸障害事象の発生率は手術室内の2倍以上である<sup>15)</sup>

医事紛争解決事案症例データベースの分析では、最も多かった特有事象である不適切な酸素化および換気の発生率は手術室内の7倍でした。また、過剰鎮静に関連する損害および賠償請求のうち62%はモニタリングを適切に行っていれば予防が可能であったと判断されました。

内視鏡領域での無呼吸の発生率は0.03%<sup>16)</sup>というデータがある一方、カプノグラフィを用いたところ57%で呼吸抑制を認めた<sup>17)</sup>と報告されており、モニタリング不備による見落としも指摘されています。

鎮静レベルと呼吸抑制<sup>18)</sup>

	軽い鎮静 Minimal Sedation	中等度鎮静 Moderate Sedation	深い鎮静 Deep Sedation	全身麻酔 General Anesthesia
反応性	呼名で正常反応	言葉での刺激に対し意図のある行動	連続刺激や疼痛刺激で意図のある行動	疼痛刺激を受けても覚醒しない
気道	無影響	介入必要なし	介入が必要な可能性	しばしば介入が必要
自発呼吸	無影響	十分である	不十分な可能性	しばしば不十分
循環	無影響	通常保持される	通常保持される	破綻する可能性あり

#### 呼吸抑制はどのような患者にも起こり得る問題である

呼吸抑制の原因は薬剤による副作用になりますが、薬物の分布・代謝・排泄や反応性は個人差が大きく、薬効の予測がしばしば困難であり、薬物投与量が増加すると深い鎮静や全身麻酔の状態(表)に陥ります<sup>19)</sup>。鎮静により生体防御反射が消失し、上気道閉塞や誤嚥など、危険な状態に陥る可能性があるため、麻酔科医によるMAC (monitored anesthesia care: 監視下鎮静管理) が必要となります。しかし、実際には鎮静が行われている領域が広く、麻酔科医がカバーできていないのが実情です<sup>20)</sup>。検査・手技中に中枢性の呼吸抑制が起こりにくい薬剤を使用しても気道閉塞は起こるともいわれており、特にハイリスク症例では注意が必要です。

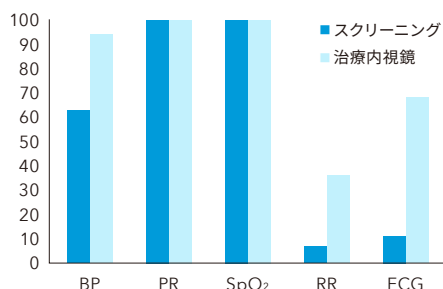
治療や検査を行う場合には覆布をかけるケースが多く、さらに内視鏡では暗室で治療が行われることもあり、胸の動きを目視で確認することに限界がある

しばしば併用されるBISは意識のモニタであり換気のモニタではない

近年鎮静レベルの評価を行うために鎮静中にBISを使用するケースがありますが、あくまで鎮静深度モニタであり呼吸イベントが必ずしもBIS値と一致することはないため、鎮静深度とは別に呼吸の観察をすることが必要です。内視鏡や心臓カテーテルの領域では、換気のモニタが少ないことが報告<sup>21,22)</sup>されています。

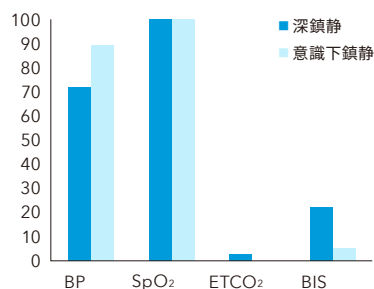
#### 消化器内視鏡中のモニタリング調査<sup>21)</sup>

- SpO<sub>2</sub>はほぼ全例で使用されているのに対し、呼吸数は半数以下でしかモニタリングはされていない



#### アブレーション中のモニタリング調査<sup>22)</sup>

- 換気と意識のモニタリングは不十分であると指摘されている



## Clinical Guidelines and Evidences

鎮静鎮痛・長時間手技・深鎮静中のカプノグラフィ使用を推奨するガイドラインは多数出ています。

- 非麻酔科医のための鎮静・鎮痛薬投与に関する診療ガイドライン<sup>18)</sup>  
[アメリカ麻酔科学会]
- 中等度処置鎮静鎮痛のための実践ガイドライン<sup>23)</sup>  
[アメリカ麻酔学会、アメリカ口腔顎顔面学会、米国放射線学会、アメリカ歯科医師会、アメリカ歯科麻酔学会、インターベンショナルラジオロジー学会]
- 消化器内視鏡検査のための非麻酔科医によるプロポフォール投与<sup>24)</sup>  
[ヨーロッパ消化器内視鏡学会、ヨーロッパ消化器内視鏡看護協会]
- 消化器内視鏡検査における意識下鎮静とモニタリングのガイドライン<sup>25)</sup>  
[アメリカ消化器内視鏡学会]
- 内視鏡診療における鎮静に関するガイドライン (第2版)<sup>26)</sup>  
[日本消化器内視鏡学会]
- 成人放射線治療のための鎮痛および鎮静に関するCIRSE実践基準<sup>27)</sup>  
[ヨーロッパ心臓血管インターベンショナルラジオロジー学会]
- 臨床指針：救急科における処置時の鎮静・鎮痛<sup>28)</sup>  
[American College of Emergency Physicians]
- 成人患者の処置中鎮静におけるクリニカルガイドライン<sup>29)</sup>  
[National Health Service, Royal Cornwall Hospitals]

日本国内においても不整脈専門医資格更新指定講座内で不整脈手技中の鎮静についての講習があり、鎮静鎮痛管理が注目されています。

- 消化器内視鏡においてカプノグラフィを使用することで重篤なSpO<sub>2</sub>低下や無呼吸の頻度を減少することができる<sup>30,31)</sup>
- 呼吸器内視鏡においてカプノグラフィはパルスオキシメータに比べ無呼吸を早期に検知できる<sup>32)</sup>
- 外来手術時においてカプノグラフィを使用することは重篤なSpO<sub>2</sub>低下を減少させ、補助換気の必要性を低減することができる<sup>33)</sup>
- 救急における鎮静領域でカプノグラフィは低酸素血症を17%減少させ、有害事象を軽減させる<sup>34)</sup>

## How to use Capnography?

〈サンプリングチューブの選択〉

- 上部消化器や呼吸器内視鏡では専用のサンプリングチューブを選択する
- 酸素投与とサンプリングが同時にでき、希釈の影響を受けにくいチューブを選択する

〈手術室以外の鎮痛・鎮静のハイリスク症例〉

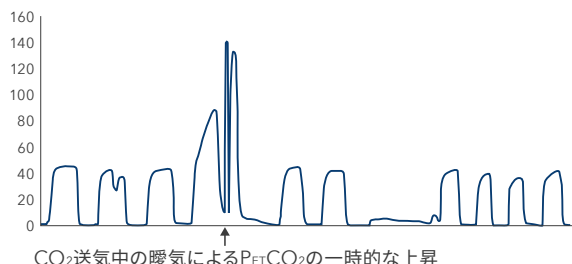
- 長時間手技
- 呼吸に影響のある薬剤を使用する際
- 深鎮静時

内視鏡鎮静での心肺イベントハイリスク症例<sup>22)</sup>

- 高齢
- 薬剤既往
- 心・肺・腎・肝・代謝・神経障害
- 病的肥満

〈活用におけるアセスメントのポイント〉

- 上部内視鏡で二酸化炭素を送気する場合、手技中の暖気により一時的にP<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>値が上昇しアラームが発動することがあるが、そのような場合には、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>値が連続して高い数値なのか暖気による一時的な上昇によるものかを波形で確認する



### 3. Clinical Situations: 鎮痛・鎮静

#### How to use Capnography? : アラーム設定、波形

##### アラーム設定

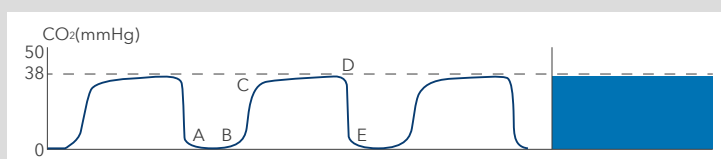
連続モニタリングによって発生する偽アラームは医療従事者の疲弊につながるため、適切なアラーム設定による管理が重要です。また、呼吸抑制時には処置前より10mmHg以上変化するといわれており<sup>34,36,37</sup>、鎮静前の $P_{ET}CO_2$ 値とその変動(トレンド)を確認することも大切です。

徐呼吸の定義は $RR \leq 12bpm$ であることに加え、海外ではPCA中止基準を $RR \leq 10bpm$ <sup>38</sup>)としており、呼吸数下限アラームはそれらの数値を設定の参考にしてください。

##### カプノグラフィ波形

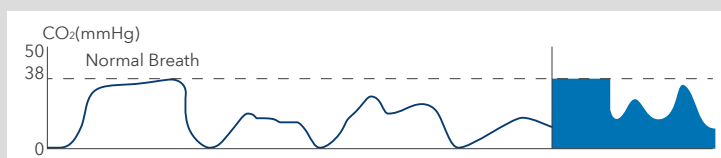
###### 一般的な波形

- $P_{ET}CO_2$ および波形とも正常で規則的かつ安定する<sup>39</sup>)

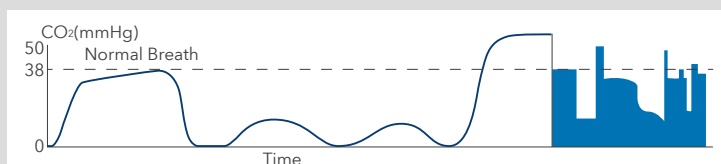


###### 異常波形

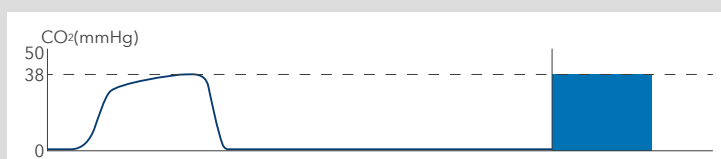
- 気道やサンプリングチューブの閉塞：  
ガスのフローが不安定となるため、波形が歪む



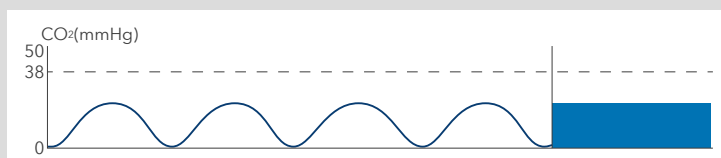
- 深い呼吸を伴う低換気：  
鎮静による呼吸抑制の初期などでは、 $P_{ET}CO_2$ の減弱と上昇を繰り返す



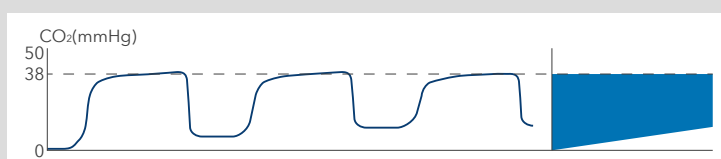
- 鎮痛・鎮静による無呼吸、サンプリングチューブの屈曲または外れ：  
突然の波形消失を示す



- 酸素マスクなどハイフローガスでの希釈やNPPV時のリーク：  
波形の減衰かつ肺胞プラトーが消失する。  
この場合、呼吸や $P_aCO_2$ の評価は困難<sup>39</sup>)



- 覆布や酸素マスク装着時の不十分なフローなどによる $CO_2$ の再呼吸：  
吸気 $CO_2$ レベルの上昇があるため、ベースラインは上昇するが $P_{ET}CO_2$ は不変<sup>39</sup>)



### TIPS 3：オピオイド投与時の呼吸抑制パターン<sup>35)</sup>

呼吸抑制といっても、軽度のものから重篤なものまで幅があります。呼吸中枢は、呼吸リズムと呼吸パターンを形成するので、使用するオピオイド（ $\mu$ オピオイド受容体作動薬）の量や種類などによっても呼吸パターンは異なります。

投与方法	呼吸パターン	ポイント
低用量もしくは緩徐に投与	呼吸数減少 呼吸パターンが不規則になる	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸気時間は保たれるが呼気時間が延長</li> <li>呼吸数が減少することにより低酸素血症、高二酸化炭素血症となる</li> <li>それにより呼吸ドライブがかかり一回換気量は維持されるかもしくは増加する</li> </ul>
高用量を投与	呼吸数がさらに減少	<ul style="list-style-type: none"> <li>呼気時間に加えて、吸気時間も延長</li> <li>高二酸化炭素および低酸素に対する反応性が低下し、一回換気量は代償性に維持されずに減少する</li> </ul>
急速に投与	呼吸停止	<ul style="list-style-type: none"> <li>高二酸化炭素および低酸素による呼吸ドライブがかからないため、急速に無呼吸になる可能性がある</li> </ul>

- オピオイド過量投与後の重症呼吸抑制では、初期には呼吸数の変化なく、呼吸パターンが不規則になり、その後、チェーンストークス様の呼吸パターンとなって呼吸停止を生じることがある

# 4. Clinical Situations: 院内急変

## 一般病棟における急変

### Clinical Issues and Challenges

急変の予兆：院内心停止の70%は、8時間以内に呼吸と意識に異常を来たす

一般病棟で心停止した患者において、呼吸の異常が53%、意識の異常は43%で観察され、心停止前の8時間以内に呼吸器症状の増悪所見を呈していることが報告<sup>40)</sup>されています。

SpO<sub>2</sub>低下に先行する呼吸数の変化を見逃しやすい

多施設前向き観察研究では、予測死亡因子として意識レベル低下および消失のオッズ比が、6.4であったのに対し、RR $\leq$ 6bpmのオッズ比は14.4、RR $\geq$ 30bpmのオッズ比は7.2であり<sup>41)</sup>、呼吸数のカウントは重要な指標となります。また、院内緊急対応チーム (Rapid Response Team : RRT) 要請は『SpO<sub>2</sub>の低下』が多かったが、RRTによる評価では『呼吸数の変化 (RR $\geq$ 25bpm)』の患者が多く、モニタからわかる数値への依存があることが指摘されています<sup>42)</sup>。

さらに、RRT緊急要請の理由と患者予後を調査した研究では、特に呼吸困難の対応が遅れた場合、死亡率は2倍に増加します<sup>43)</sup>。

### Clinical Guidelines and Evidences

呼吸数減少に関しては前述したので、ここでは呼吸数上昇に着目します。呼吸数の増加は、痛みや心理的な要因でも見られますが、急性肺炎やうっ血性心不全、肺塞栓症など酸素化不全を伴う呼吸不全で観察されます。さらに、敗血症のような代謝性アシドーシスの代償など急変の前兆として現れることもあります。

ERや一般病棟などICU以外の現場で敗血症を把握するための新たなスコアQuick SOFA (qSOFA) というスコアが導入され、その中の一つに呼吸数22回/分以上という項目が含まれます<sup>44)</sup>。

qSOFAスコア：以下のうち2つ以上

「呼吸数22回/分以上」

「意識状態の変化」

「収縮期血圧100mmHg以下」

qSOFAは、感染が疑われ2点を超えれば集中治療が必要だと判断し、臓器障害の評価を行うことが推奨されています。

### How to use Capnography?

〈サンプリングチューブの選択〉

- 呼吸パターンの変調が起こる可能性があるため、鼻口両方からサンプリングできるものを選択する
- 酸素投与とサンプリングが同時にでき、希釈の影響を受けにくいチューブを選択する

〈活用におけるアセスメントのポイント〉

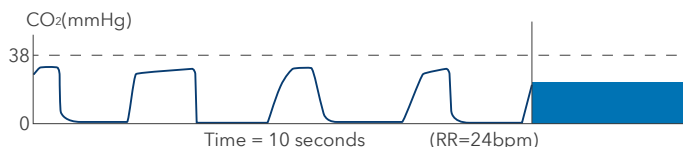
- 呼吸数上昇は、急変のサインであり、感染症もしくは感染が疑われる患者さんや酸素投与中の患者さんでは、カプノグラフィのモニタリングを考慮する
- 呼吸循環動態が複雑に変化するので、呼吸数だけでなくPETCO<sub>2</sub>や酸素飽和度、脈拍数などの指標を総合的に評価することが重要である

〈アラーム設定〉

- 頻呼吸の定義は25回/分以上、qSOFAの定義は22回/分以上であり、これらの数値を踏まえて検討する
- PETCO<sub>2</sub>の上下限値は換気血流比 (P15 TIPS 5: 正常な換気血流比参照) が適正であればPaCO<sub>2</sub>値と近似しているため、PaCO<sub>2</sub>の正常範囲である35-45mmHgを指標に検討する
- 感染の際には脈拍数も上昇するため、適切なアラーム値を設定する

〈カプノグラフィ波形〉

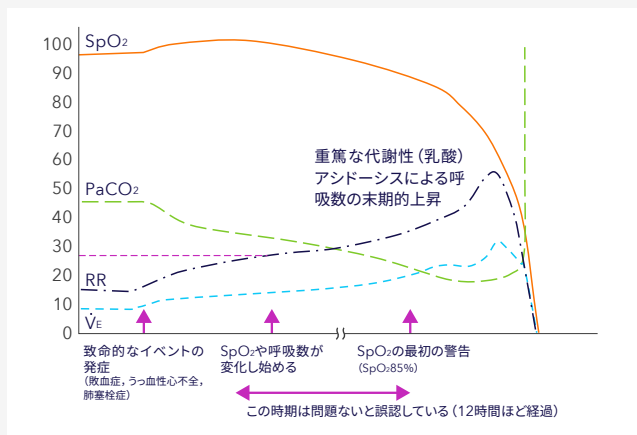
- 肺泡プラトーは短くPETCO<sub>2</sub>が低下 (呼吸が速くやや過換気)



TIPS 4：急変のパターン<sup>45)</sup>

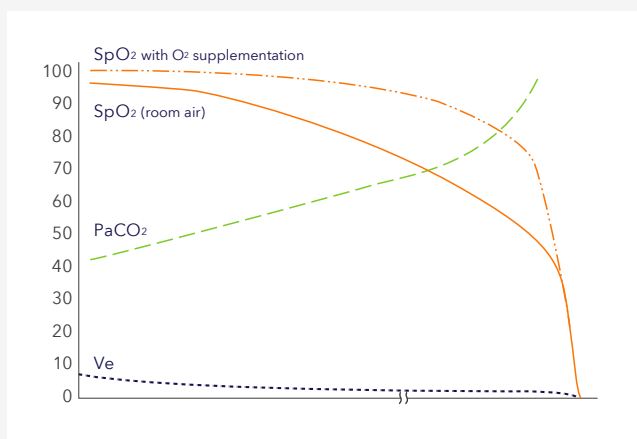
タイプI：低酸素性の呼吸不全(酸素化障害)  
Hyperventilation Compensated  
Respiratory Distress  
(敗血症、うっ血性心不全、肺塞栓症)

低酸素を代償するために呼吸数が上昇しPaCO<sub>2</sub>は進行性に低下しますが、SpO<sub>2</sub>は安定しています。SpO<sub>2</sub>は最終的にはゆっくり低下し、代謝性アシドーシスの呼吸による代償が限界となった結果、SpO<sub>2</sub>と呼吸数は急激に低下します。



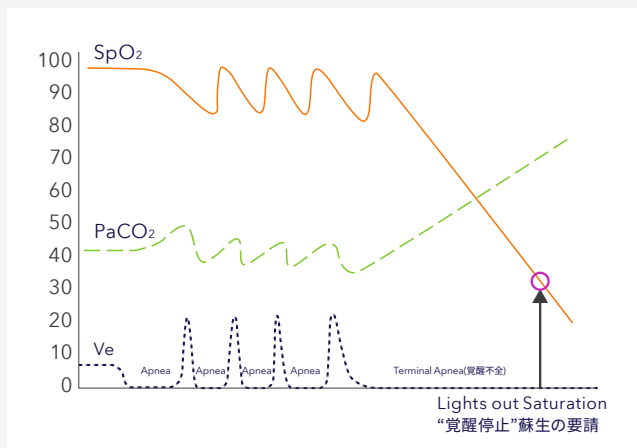
タイプII：高二酸化炭素性の呼吸不全(換気障害)  
Progressive Unidirectional  
Hypoventilation (CO<sub>2</sub> ナルコーシス)

換気量低下のため進行性にPaCO<sub>2</sub> (PETCO<sub>2</sub>)が上昇し、15分から数時間にかけてSpO<sub>2</sub>は低下します(しばしば麻薬や鎮静薬の過量投与により発生)。



タイプIII：覚醒不全(睡眠障害)  
Sentinel Rapid Airflow/SpO<sub>2</sub> Reductions  
Followed by Precipitous SpO<sub>2</sub> Fall.  
SpO<sub>2</sub>の急降下

睡眠中のみ発生する反復性の無呼吸は、覚醒にすることで生命は維持されますが、覚醒しない場合、急激な低酸素が起き最終的に心停止に至ります。



“Patterns of unexpected in-hospital deaths: a root cause analysis”(著者 Lynn LA. Curry JP; PMID: 21314935)は、Creative Commons License CC-BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>)の下で使用しています。

# 5. Clinical Situations:人工呼吸

## 人工呼吸：安全管理、患者の評価、ウィニング

### Clinical Issues and Challenges

#### 安全管理

人工呼吸器や気管チューブのトラブルは非常に多く、十分なモニタリングや適切な対応ができていないのが現状である

英国の医療安全推進の機関における2005～2007年の全患者を対象とした報告<sup>46)</sup>では、気道のトラブルは1,085件報告されており、英国のNAP4<sup>47)</sup>によると、死亡または持続性の神経学的損傷の74%はカプノグラフィを使用していませんでした。日本では、27%以上の施設で事故抜管後に呼吸器合併症を発生<sup>48)</sup>しており、計画外抜管(事故抜管)は、浅い鎮静や夜間、人工呼吸器離脱中に発生しやすいと報告されています。また、気管チューブの閉塞トラブルは人工呼吸器から換気が得られず、生命に危険を及ぼす可能性があります。

#### 患者の評価

血液ガスでのPaCO<sub>2</sub>による換気の評価は連続的ではないため、換気や肺循環など呼吸状態の変化にすぐに気付けない可能性がある

PaCO<sub>2</sub>によるスポットでの評価は重要ですが、状態が変化するケースでは頻繁にPaCO<sub>2</sub>を測定しなければなりません。特に死腔換気が増える状況ではPaCO<sub>2</sub>の変化は小さく、状態の変化に気付けない可能性があり注意が必要です(P15 TIPS 5:死腔換気参照)。

### Clinical Guidelines and Evidences

- 人工呼吸管理中には、チューブの位置確認や換気のモニタリングとしてカプノグラフィは有用である<sup>49-53)</sup>
- カプノグラフィは肺循環および呼吸状態の評価・人工呼吸器の最適化に有用である<sup>51)</sup>

### How to use Capnography?

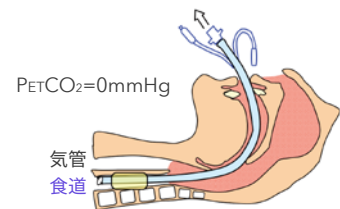
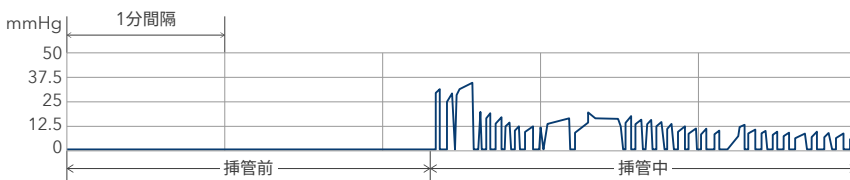
- 気管チューブの位置確認には、身体所見とともに波形表示のあるカプノグラフィを使用することが強く推奨<sup>54)</sup>されているが、心停止症例だとガス交換が行われないために偽陰性を示すことがある
- 食道挿管の際、胃内二酸化炭素を検出し、偽陰性を示すことがあるため、少なくとも6呼吸以上換気して評価する

人工呼吸管理中の PETCO<sub>2</sub> 変動の原因

	PETCO <sub>2</sub> 増加	PETCO <sub>2</sub> 減少
代謝関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>痛み</li> <li>悪性高熱</li> <li>シバリング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低体温</li> </ul>
呼吸関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>呼吸不全(低換気)</li> <li>呼吸抑制</li> <li>閉塞性肺疾患</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>肺泡過換気</li> </ul>
循環関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>心拍出量の増加(発熱・敗血症など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>心停止</li> <li>循環血流量減少</li> <li>肺塞栓</li> </ul>
機器関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>設定換気量の不足</li> <li>呼吸弁の不調などによる呼気ガスの再吸入</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設定換気量の過剰</li> <li>人工呼吸器の接続部分からのリーク</li> <li>チューブ等の部分閉塞、ねじれ、折れ</li> <li>食道への誤挿管</li> </ul>

#### チューブの位置を確認するためのカプノグラフィ<sup>55) 56)</sup>

- 挿管によりPETCO<sub>2</sub>の検出が可能となり、気管チューブが適正に留置されたことを確認できる



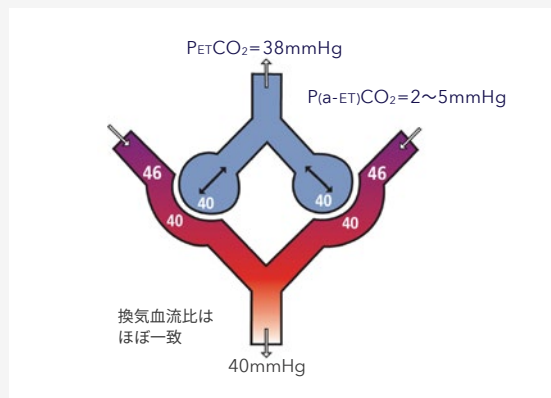


### TIPS 5：換気血流比不均衡による変化<sup>4)</sup>

PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub>較差をみていくことにより、肺病変の発見や治療の効果などをアセスメントすることができ、また人工呼吸器の設定条件が現在の患者の状態に適しているかどうかという指標にもなります。

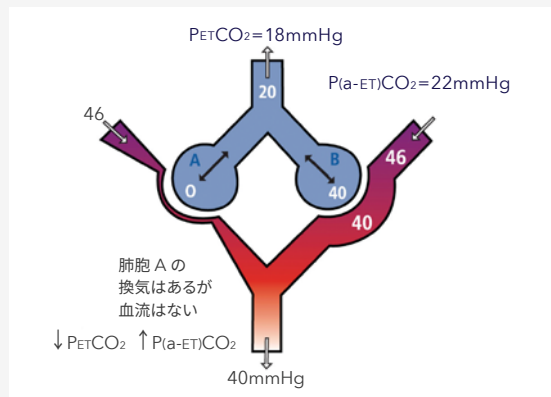
#### 正常な換気血流比

右図は換気と血流が均等に行われている状態の模式図です。CO<sub>2</sub>はO<sub>2</sub>と比べ拡散能力が20倍も高いため、換気血流比が正常であればPaCO<sub>2</sub>とPaETCO<sub>2</sub>はほぼ同じ値になります。



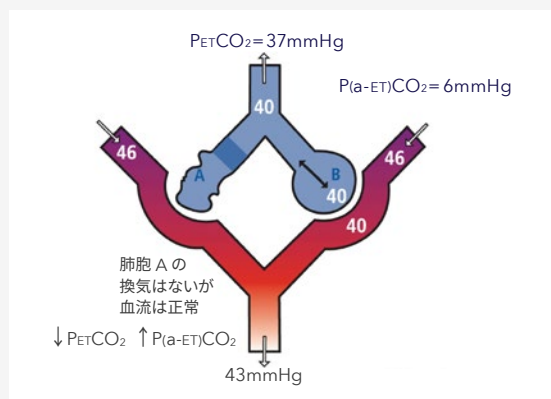
#### 死腔換気

肺胞A・Bどちらも換気は行われていますが、Aにおいては血流がないためガス交換が行われません(死腔換気)。ガス交換が行われなかった肺胞のPaCO<sub>2</sub>は0mmHgのままです。そのため、PaCO<sub>2</sub>は変わりませんが、死腔ガスの希釈によりPETCO<sub>2</sub>は低値を表示します。その結果、PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub>較差は拡大します。較差は死腔換気が増大するほど大きく、改善すると小さくなります。具体的には、肺塞栓や心拍出量の減少、不適切な人工呼吸器の設定(過剰な一回換気量)などが挙げられます。



#### シャント血流

肺胞Bではガス交換が行われますが、肺胞Aにおいては肺胞が虚脱しているため、ガス交換が行われません(肺内シャント)。静脈血がガス交換されないまま動脈血に混合するため、PaCO<sub>2</sub>は若干上昇しますが、PETCO<sub>2</sub>はあまり変化しません。具体的には無気肺などが挙げられます。



## 6. Clinical Situations: 小児

### 小児の呼吸の特徴

#### 小児は中枢性換気トラブルと気道閉塞による呼吸異常をきたしやすい

小児では、呼吸中枢が未熟であるため換気応答が不十分で中枢性換気トラブルが多く、口腔や上気道の解剖学的な特徴から気道閉塞を起こしやすい状況にあります。

- 自然な睡眠と異なり、薬剤を使用した鎮静では呼吸トラブルが起こりやすい
- 術後24時間でのRRT出勤の内訳をみた調査では、100件中71例が呼吸に関連したコールであったことが示されている<sup>57)</sup>

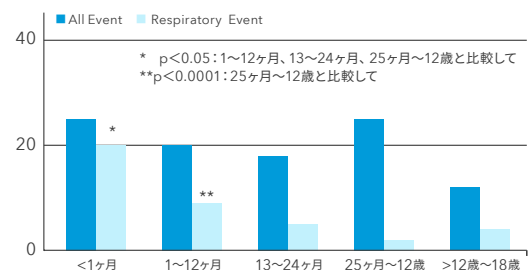
### 鎮痛と鎮静：検査・処置

#### Clinical Issues and Challenges

#### 年齢が小さいほど呼吸イベントの発生率が高い

年齢により呼吸イベントの発生率は異なります<sup>58)</sup>。呼吸イベントは、薬剤の副作用、鎮静中は通常の睡眠と異なり気道反射が抑制されるため、鎮静中に胃内容物が逆流することで誤嚥し、換気トラブルを生じやすくなります。また、検査に対する理解が低いことに加え、啼泣や体動による検査の中断を懸念し、鎮静薬を追加投与することで過鎮静に陥ることが原因となり発生します。

年齢別イベント発生率



#### 検査や処置で鎮静を必要とした際、目視で胸郭の動きをとらえることが困難

小児は、呼吸が変調しやすいことから鎮静時に予防的酸素投与を行うケースが多いが、パルスオキシメータでは異常の早期発見に遅れが生じます。また、MRI室など暗室での検査や、覆布をかけて処置を行う際、目視で胸郭の動きをとらえることが困難であり、モニタを使用した観察も必要です。

#### Clinical Guidelines and Evidences

- 鎮静中の患児において、呼吸数や気道閉塞、呼吸抑制を識別するのにカプノグラフィが有用であることを示したガイドラインは多数ある<sup>59-62)</sup>
- 鎮静する患児において、カプノグラフィは低酸素血症の頻度を減少させる可能性を示唆する<sup>63)</sup>

#### How to use Capnography?

##### 〈サンプリングチューブの選択〉

- 呼吸パターンの変調が起こる可能性があるため、鼻口両方からサンプリングできるチューブ（低年齢の場合には鼻タイプのサンプリングチューブ）を選択する
- 換気量が少ないため希釈の影響を受けないよう、サンプリング量の少ないサンプリングチューブを選択する

##### 〈小児における鎮痛・鎮静のハイリスク症例〉

- MRI検査時の鎮静に関する共同提言では、気道確保や換気補助が難しい（例：挿管困難）と考えられる患児に対しては、鎮静は極めて慎重に行わなければならない。特にASAの分類III以上や、重度の扁桃肥大や気道の解剖学的異常を伴う基礎疾患をもつ小児では、鎮静の合併症を起こす可能性が高いため慎重な判断が必要となる<sup>61)</sup>と述べており、換気状態の確認が重要である

##### 〈活用におけるアセスメントのポイント〉

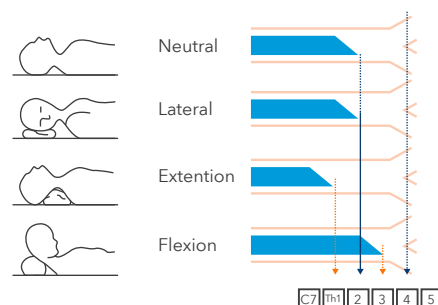
- 小児では確実に検査・処置を施行するために鎮静を行うケースが多いが、施行中だけでなく帰室後も連続モニタリングで呼吸の観察を継続する
- 一回換気量が少ないので数値ではなく波形やトレンドで評価する
- 呼吸状態が変調しやすいため、連続モニタリングが有用である

## 人工呼吸：安全管理（気管チューブ）

### Clinical Issues and Challenges

気管チューブの挿入長が短いことやカフなしチューブを使用することでの計画外（事故）抜管のリスクが高い

小児は気管チューブの挿入長が短いため、首の小さい動きでも気管チューブの位置が変化しやすく（図）<sup>64)</sup>、計画外抜管が起こるリスクが高くなります。また、成人では人工呼吸管理がICUやHCUで管理されることが多いのに対して、小児領域では人工呼吸管理患者の55%が一般病棟で管理されているという現状<sup>65)</sup>が報告されており、人工呼吸管理中や搬送中におけるチューブ関連の安全管理が求められます。



新生児40例を対象とした気管チューブ位置確認では、カプノグラフィと比較し、臨床的判断では3症例での誤認識があり、平均10秒以上の遅れを生じていたと報告されています<sup>66)</sup>。

### Clinical Guidelines and Evidences

- チューブの位置確認や院内搬送でカプノグラフィを用いることを推奨する<sup>51,66-68)</sup>
- 換気サポートが適切かカプノグラフィの波形を基に評価することが可能である<sup>67)</sup>
- カプノグラフィを用いることで、PaCO<sub>2</sub>を測定するための血液ガス分析（BGA）回数が減少し、その結果コスト削減につながる<sup>69)</sup>

### How to use Capnography?

〈サンプリングチューブの選択〉

- 換気への影響を少なくするため、死腔の小さいアダプタを選択する
- 換気量が少ないため希釈の影響を受けないよう、サンプリング量の少ないサンプリングチューブを選択する

〈活用におけるアセスメントのポイント〉

- チューブの位置確認に比色法を用いたカプノグラフィを使用されることが多いが、人工呼吸管理中には突然のトラブルが生じることがある（P19 カフなしチューブ波形参照）ことを考慮し、波形を表示できるタイプのカプノグラフィを使用し連続的にモニタリングする
- カフなしチューブを使用することで、PETCO<sub>2</sub>値が低値であったり波形がプラトーのない山型の波形を描くことがあるが、これらはエアリークが原因と考えられる。しかし、患児の安全を守るために必要なのは患児が換気が行えているか評価することであり、CO<sub>2</sub>呼出があるかを確認することは可能である
- 経皮二酸化炭素モニタリングはPaCO<sub>2</sub>との相関もあり有用なモニタだが、校正に時間を要するほか、加温による低温熱傷、末梢循環不全時には影響を受けやすい<sup>70)</sup>といわれている。チューブの計画外抜管や位置確認には、毎呼吸をサンプリングしているカプノグラフィが有用である

## 6. Clinical Situations:小児

### TIPS 6：小児でも有用なカプノグラフィ

小児では換気量が少ないため、CO<sub>2</sub>測定に使用するサンプリングガスの量が多いと換気や測定値に影響を及ぼすことがありました。しかし、サンプリングの量をできる限り少なくする測定技術が開発され、非挿管下においても有効なモニタリングができるようになりました。換気量の少ない乳児において挿管、非挿管ともに有用と評価されています。

#### PICU入室中の1歳未満の非挿管患児39名<sup>71)</sup>

P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>とPaCO<sub>2</sub>は強い相関( $r^2=0.907$ )を認めPICUに入室する非挿管乳児においてカプノグラフィ(サイドストリーム)は換気効果を評価するために有用です。

#### VLBW(超低出生体重児)で挿管下人工呼吸管理をしている37例(体重1,003 ± 331 g、出生週数27.7 ± 1.9週)<sup>72)</sup>

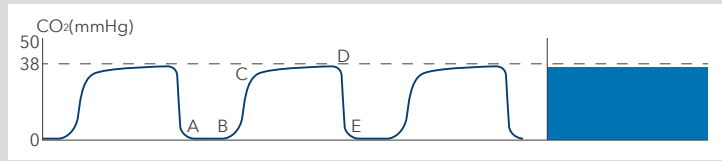
P<sub>v</sub>CO<sub>2</sub>よりもP<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>は11.2 ± 8.0 mmHg低いが低換気や過換気の検出には有用であり、特に波形でプラトーがあると精度は良好と報告されています。

# Clinical Situations:人工呼吸

## How to use Capnography? : 波形

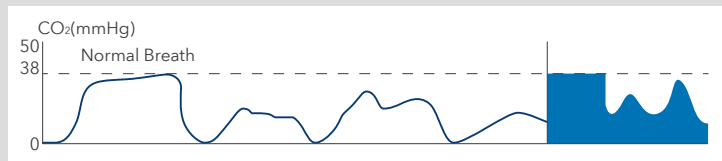
### 人工呼吸中の一般的な波形

- $P_{ET}CO_2$ および波形とも正常で規則的かつ安定する (適正な人工換気)<sup>39)</sup>

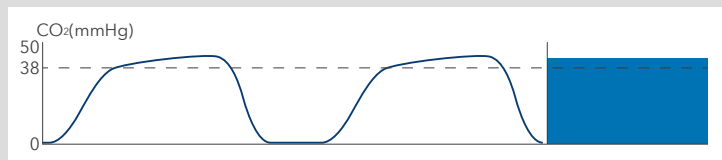


### 異常波形

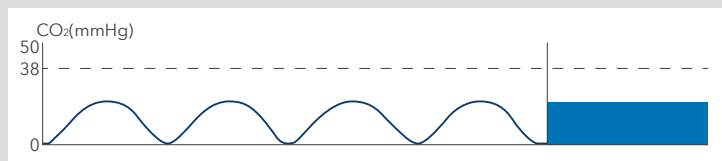
- 気管チューブの部分的な閉塞：  
波形に歪みが生じる<sup>39)</sup>



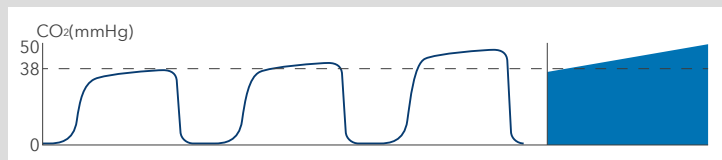
- 高熱や敗血症などにおける代謝亢進時 (自発呼吸による代償がない場合)：  
肺泡プラトーと $P_{ET}CO_2$ が上昇する<sup>39)</sup>



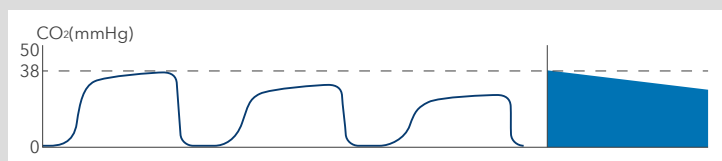
- リーク、カフなしチューブ使用時：  
波形の減衰かつ肺泡プラトーが消失する。  
この場合、呼吸や $P_aCO_2$ の評価は困難<sup>39)</sup>



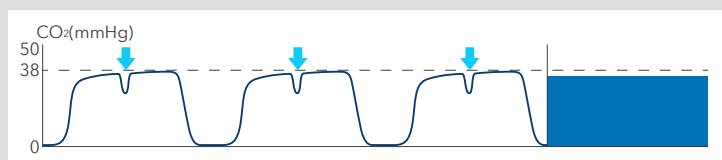
- 重炭酸投与、低心拍出からの循環改善：  
 $P_{ET}CO_2$ が急激に上昇する<sup>39)</sup>



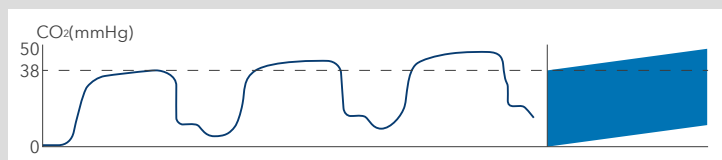
- 過換気もしくは心拍出量低下による肺への $CO_2$ 運搬の減少：  
 $P_{ET}CO_2$ が減少する<sup>39)</sup>



- 筋弛緩薬使用時に呼吸筋レベルでの覚醒が出現：  
患者の自発呼吸による肺泡プラトーに変化を認める<sup>39)</sup>



- 人工呼吸回路弁の故障やソーダライムの劣化：  
ベースラインと $P_{ET}CO_2$ が上昇する<sup>39)</sup>



# Reference

1. Respiratory compromise is common, costly and deadly. 14-PM-0082. Covidien. 2014.
2. Swedlow D. ASA refresher course text.
3. Cretikos MA, et al. *Med J Aust*. 2008;188(11):657-9. PMID:18513176
4. Restrepo RD, et al. *Expert Rev Respir Med*. 2014;8(5):629-39. PMID:25020234
5. 飯野靖彦. *日腎会誌*. 2001;43(8):621-30.
6. Karcz M, et al. *Can J Respir Ther*. 2013;49(4):21-9. PMID:26078599
7. Okahara S. ASA. 2015:A3024 Abstract.
8. Rygnestad T, et al. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1997;41(7):868-76. PMID:9265930
9. The Joint Commission. The safe use of opioids in hospitals: Sentinel Event Alert. 2012;49:1-5; 2012 [cited 2022/3/8].  
[http://www.jointcommission.org/assets/1/18/SEA\\_49\\_opioids\\_8\\_2\\_12\\_final.pdf](http://www.jointcommission.org/assets/1/18/SEA_49_opioids_8_2_12_final.pdf).
10. 山蔭道明 監修. PCA患者自己調節鎮痛法. 克誠堂出版; 2011. xiv, 294 p.
11. Hutchison R, et al. *Am J Nurs*. 2008;108(2):35-9. PMID:18227667
12. Anesthesia Patient Safety Foundation(APSF). Essential monitoring strategies to detect clinically significant drug- induced respiratory depression in the postoperative period [cited 2022/3/8].  
<http://www.apsf.org/announcements.php?id=7>.
13. McCarter T, et al. *Am Health Drug Benefits*. 2008;1(5):28-35. PMID:25126237
14. D'Arcy Y. *Nursing*. 2013 Sep;43(9):38-45; quiz 45-6. PMID: 23921816
15. Metzner J, et al. *Current Opinion in Anesthesiology*. 2009;22(4):502-8. PMID:19506473
16. Friedrich K, et al. *J Gastrointestin Liver Dis*. 2012;21(3):259-63. PMID:23012666
17. Vargo JJ, et al. *Gastrointest Endosc*. 2002;55(7):826-31. PMID:12024135
18. American Society of Anesthesiologists Task Force on Sedation and Analgesia by Non-Anesthesiologists. *Anesthesiology*. 2002;96(4):1004-17. PMID:11964611
19. 白神豪太郎. *LiSA*. 2016;23(04):370-4.
20. 横田美幸, 他. 麻酔. 2015;64(3):236-42.
21. 佐藤公. *消化器内視鏡*. 2013;25(4):503-6.
22. 宮内靖史. 麻酔. 2015;64(3):270-5.
23. American Society of Anesthesiologists Task Force on Moderate Procedural Sedation and Analgesia, et al. *Anesthesiology*. 2018;128(3):437-79. PMID:29334501
24. Dumonceau JM, et al. *Endoscopy*. 2015;47(12):1175-89. PMID:26561915
25. Waring JP, et al. *Gastrointest Endosc*. 2003;58(3):317-22. PMID:14528201
26. 内視鏡診療における鎮静に関するガイドライン(第2版): 日本消化器内視鏡学会内視鏡診療における鎮静に関するガイドライン委員会; 2020 [cited 2022/3/8].  
[https://minds.jcqhcc.or.jp/docs/gl\\_pdf/G0001230/4/sedation\\_in\\_endoscopy.pdf](https://minds.jcqhcc.or.jp/docs/gl_pdf/G0001230/4/sedation_in_endoscopy.pdf).
27. Romagnoli S, et al. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2020;43(9):1251-60. PMID:32556610
28. Godwin SA, et al. *Ann Emerg Med*. 2014;63(2):247-58 e18. PMID:24438649
29. Procedural Sedation of Adult Patients in the Emergency Department Clinical Guideline V2.0: NHS, Royal Cornwall Hospitals; 2020 [cited 2022/3/8].  
<https://doclibrary-rcht.cornwall.nhs.uk/GET/d10358708>.
30. Beitz A, et al. *Am J Gastroenterol*. 2012;107(8):1205-12. PMID:22641306
31. Qadeer MA, et al. *Gastroenterology*. 2009;136(5):1568-76. PMID:19422079
32. Ishiwata T, et al. *BMC Pulm Med*. 2017;17(1):7. PMID:28061836
33. Saunders R, et al. *BMJ Open*. 2017;7(6):e013402. PMID:28667196
34. Deitch K, et al. *Ann Emerg Med*. 2010;55(3):258-64. PMID:19783324
35. 川股知之. 臨床麻酔. 2015;39(7):967-73.
36. Deitch K, et al. *Ann Emerg Med*. 2008;52(1):1-8. PMID:18294729
37. Miner JR, et al. *Acad Emerg Med*. 2002;9(4):275-80. PMID:11927449
38. Patient controlled analgesia (PCA) guidelines of care for the opioid naïve patient. 2009 [cited 2022/3/8].  
[http://www.hqinstitute.org/sites/main/files/file-attachments/sdpsc\\_patient\\_controlled\\_analgesia\\_pca\\_guidelines\\_of\\_care\\_toolkit\\_december\\_2008.pdf](http://www.hqinstitute.org/sites/main/files/file-attachments/sdpsc_patient_controlled_analgesia_pca_guidelines_of_care_toolkit_december_2008.pdf).

39. Gravenstein JS, et al. Capnography. 2nd ed. Cambridge University Press; 2011. 474 p.
40. Schein RM, et al. Chest. 1990;98(6):1388-92. PMID:2245680
41. Buist M, et al. Resuscitation. 2004;62(2):137-41. PMID:15294398
42. 小池朋孝. 重症集中ケア. 2012;11(3):103-10.
43. Quach JL, et al. J Crit Care. 2008;23(3):325-31. PMID:18725036
44. Seymour CW, et al. JAMA. 2016;315(8):762-74. PMID:26903335
45. Lynn LA, et al. Patient Saf Surg. 2011;5(1):3. PMID:21314935
46. Thomas AN, et al. Anaesthesia. 2009;64(4):358-65. PMID:19187391
47. Cook TM, et al. Br J Anaesth. 2011;106(5):632-42. PMID:21447489
48. 行岡秀和, 他. 日本集中治療医学会雑誌. 2005;12(3):227-41.
49. Intensive Care Society. Standards for capnography in critical care 2012 [cited 2022/3/8].  
<https://www.ics.ac.uk/AsiCommon/Controls/BSA/Downloader.aspx?iDocumentStorageKey=63d1235b-6fec-4605-ae85-2dc66bd1725e&iFileTypeCode=PDF&iFileName=Capnography%20in%20the%20Critically%20Ill>
50. European board of anaesthesiology(EBA) recommendations for minimal monitoring during anaesthesia and recovery [cited 2022/3/8].  
<http://www.eba-uems.eu/resources/PDFS/safety-guidelines/EBA-Minimal-monitor.pdf>.
51. Walsh BK, et al. Respir Care. 2011;56(4):503-9. PMID:21255512
52. 生命維持装置である人工呼吸器に関する医療事故防止対策について 2001 [cited 2022/3/8].  
<https://www.pmda.go.jp/files/000144806.pdf>
53. 布宮 伸, 他. 人工呼吸. 2011;28(2):210-25.
54. 日本蘇生協議会. JRC 蘇生ガイドライン 2020 オンライン版 成人の二次救命処置 [cited 2022/3/8].  
<https://www.japanresuscitationcouncil.org/wp-content/uploads/2021/04/ALSONlinever1-1.pdf>
55. American Heart Association. アメリカ心臓協会 心肺蘇生と救急心血管治療のためのガイドライン 2010のハイライト 2010 [cited 2022/3/8].  
[https://www.heart.org/idc/groups/heart-public/@wcm/@ecc/documents/downloadable/ucm\\_317340.pdf](https://www.heart.org/idc/groups/heart-public/@wcm/@ecc/documents/downloadable/ucm_317340.pdf)
56. American Heart Association. 2020 アメリカ心臓協会 CPRおよびECCのガイドライン ハイライト 2020 [cited 2022/3/3].  
[https://cpr.heart.org/-/media/CPR-Files/CPR-Guidelines-Files/Highlights/Hghlghts\\_2020ECCGuidelines\\_Japanese.pdf](https://cpr.heart.org/-/media/CPR-Files/CPR-Guidelines-Files/Highlights/Hghlghts_2020ECCGuidelines_Japanese.pdf)
57. Barry N, et al. Paediatr Anaesth. 2016;26(5):504-11. PMID:26972832
58. 堀本 洋 編著. こどもの検査と処置の鎮静・鎮痛. 中外医学社; 2013.
59. Cote CJ, et al. Pediatrics. 2006;118(6):2587-602. PMID:17142550
60. Odegard KC, et al. Catheter Cardiovasc Interv. 2016;88(6):912-22. PMID:27801973
61. 中山佳子, 他. 日本小児栄養消化器肝臓学会雑誌. 2016;30(Suppl.):51.
62. 日本小児科学会・日本小児麻酔学会・日本小児放射線学会. MRI検査時の鎮静に関する共同提言 2013 [cited 2022/3/8].  
[http://www.jspr-net.jp/information/gijiroku/MRI\\_20150129.pdf](http://www.jspr-net.jp/information/gijiroku/MRI_20150129.pdf)
63. Langan ML, et al. Am J Emerg Med. 2015;33(1):25-30. PMID:25445871
64. 松本 弘. 小児内科. 2000;32(増刊):78-82.
65. 山田圭之介, 他. 日本集中治療医学会雑誌. 2012;19(Suppl.):207.
66. Hosono S, et al. J Perinat Med. 2009;37(1):79-84. PMID:18976048
67. 日本蘇生協議会・日本救急医療財団. 小児の蘇生 2015 [cited 2022/3/8].  
<http://www.japanresuscitationcouncil.org/wp-content/uploads/2016/04/6f3eb900600bc2bdf95fdce0d37ee1b5.pdf>.
68. 日本蘇生協議会・日本救急医療財団. 新生児の蘇生 2015 [cited 2022/3/8].  
<http://www.japanresuscitationcouncil.org/wp-content/uploads/2016/04/08dce2e3b734f1a2d282553a95dfc7ed.pdf>.
69. Rowan CM, et al. J Clin Med Res. 2015;7(2):71-5. PMID:25436022
70. 杉浦 弘. Neonatal Care. 2015;28(4):316-25.
71. Coates BM, et al. BMC Pediatr. 2014;14(1):163. PMID:24965523
72. Lopez E, et al. Intensive Care Med. 2009;35(11):1942-9. PMID:19760396

© 2016-2022 Medtronic. Medtronic及びMedtronicロゴマークは、Medtronic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](https://www.medtronic.co.jp)

mt-pm-csap(m3)2204  
RMS\_2022\_1104-A