

参考文献

- 1) Stayer SA, Diaz LK, East DL, et al. Changes in respiratory mechanics among infants undergoing heart surgery. Anesth Analg 2004; 98: 49-55.
- 2) von Ungern-Sternberg BS, Petak F, Saudan S, et al. Effect of cardiopulmonary bypass and aortic clamping on functional residual capacity and ventilation distribution in children. J Thorac Cardiovasc Surg 2007; 134: 1193-8.
- 3) Mammel MC, Donn SM. Real-time pulmonary graphics. Seminars in fetal & neonatal medicine. 2015; 20: 181-91.
- 4) Bachiller PR, McDonough JM, Feldman JM. Do new anesthesia ventilators deliver small tidal volumes accurately during volume-controlled ventilation? Anesth Analg 2008; 106: 1392-1400.
- 5) Feldman JM. Optimal ventilation of the anesthetized pediatric patient. Anesth Analg 2015; 120: 165-75.
- 6) Scohy TV, Bikker IG, Hofland J, et al. Alveolar recruitment strategy and PEEP improve oxygenation, dynamic compliance of respiratory system and end-expiratory lung volume in pediatric patients undergoing cardiac surgery for congenital heart disease. Pediatr Anesth 2009; 19: 1207-12.
- 7) Herzog-Niescery J, Seipp HM, Weber TP, et al. Inhaled anesthetic agent sedation in the ICU and trace gas concentration: a review. J Clin Monit Comput 2018; 32: 667-75.
- 8) 神藤慧玲, 宮澤典子. 小児専門病院手術室における揮発性麻酔ガス環境汚染の検討. 日本小児麻酔学会第23回大会

*本資料に記載されている内容は、弊社が保証するものではありません。



エイシスCS²

GEヘルスケア・ジャパン株式会社
カスタマー・コールセンター 0120-202-021

販売名：エイシス（エイシスCS²の業事販売名はエイシスです）
医療機器承認番号：21900BZX00741000
販売名称：CARESCAPE ベッドサイドモニター Canvas シリーズ
医療機器認証番号：305ADBZX00092000
販売名称：CARESCAPE ONE モニター
医療機器認証番号：231ADBZX00022000

製造販売業者名：GEヘルスケア・ジャパン株式会社
東京都日野市旭が丘4-7-127
記載内容は、お断りなく変更する場合がありますのでご了承ください。
カタログの写真や色は印刷により若干異なる場合があります。
©2025 GE HealthCare. GE is a trademark of General Electric Company
used under trademark license.

Printed in Japan
Rev.1.0 2023/009J・B-C1(KM・KM) Bulletin N1F31 JB02809JA

ユーザーレポート

斬新な麻酔器を導入してみた

—小児専門施設での使用経験—

東京都立小児総合医療センター 麻酔科
西部 伸一 先生



病院紹介

当院(図1)は、東京都立の3つの小児病院(清瀬小児病院、八王子小児病院、梅ヶ丘病院)が統合され、2010年に東京都府中市に開設されました。病床数は561床で一般床は347床です。39の診療科で構成されており、手術室はカテーテル検査室を含め10室あり、年間約4000件の症例を麻酔科管理で行なっています。先天性心疾患手術、気管形成術、腎移植などの小児高度専門医療から、そけいヘルニアや歯科治療などの日帰り手術まで幅広く対応しています。廊下を一つ隔てて、東京都立多摩総合医療センターが隣接しており、そちらで生まれたお子さんは総合周産期母子医療センターとして当院の新生児科が対応しています。



図1. 東京都立小児総合医療センター

表1. 小児心臓手術が呼吸メカニクスに与える影響

	術前		閉胸後		ICU入室時	
動肺コンプライアンス(体重あたり)(mL/cmH ₂ O/kg)						
肺血流が正常または減少している疾患	1.10	± 0.40	0.88	± 0.24*	0.82	± 0.23*
肺血流が増加している疾患	0.88	± 0.39	0.86	± 0.25	0.84	± 0.18
平均気道抵抗(cmH ₂ O/L/sec)						
肺血流が正常または減少している疾患	62.2	± 24.3	59.5	± 19.8	64.0	± 24.5
肺血流が増加している疾患	77.0	± 29.1†	65.0	± 22.0*	65.0	± 24.3*

* 術前に比較して有意差あり (P<0.05)

† 肺血流が正常または減少している疾患群との有意差あり (P<0.05)

(文献(1)より改変引用)

I 麻酔器更新のきっかけと麻酔器選定の要点

2010年の開院時にそれぞれの病院から持ち寄った麻酔器が数台あり、その更新期限が迫ってきました。とはいえ、10室分を一度に更新するには予算の問題があり、2017年度から1年に1台ずつ更新していく方針としました。

麻酔器選定にあたっては、用手換気から機械換気への切り替えが速やかな麻酔器であること、小さな換気量を正確に供給できることを最優先としました。また、未熟児、新生児にはエスティバ(Aestiva)でBain回路を使用していたことや、さまざまな施設から小児麻酔研修に来られる先生方にも馴染みのあるものと考え、GEヘルスケア社製の麻酔器を選択することとしました。2017年度には心臓手術や気管形成術などを行う大きめの手術室に1台、2018年度には心臓カテーテル検査を行う手術室に1台とエイシスCS²を購入しました。2019年度には日帰り手術や内視鏡手術などを行っている少し小さめの手術室の麻酔器を、エイシスCS²と基本的な操作性が同じで小型の麻酔器、Carestation 650に更新する予定です。

II 先天性心疾患を有する患児への使用

先天性心疾患を有する患児に対する麻酔では、循環管理ばかりでなく呼吸管理にも特別な配慮が必要です。

先天性心疾患、特に心室中隔欠損、肺高血圧、心不全などの

左右短絡の大きな疾患では、導入時の酸素飽和度が予想以上に急激に低下する症例を経験します。高濃度酸素は左右短絡を増悪させるため導入時に十分な酸素を投与できないことに加えて、高肺血流のために拡大した肺動脈や左房による気道の圧迫、肺高血圧による気管支収縮、肺うっ血による間質浮腫などさまざまな要因が重なり合って肺のコンプライアンスが低下し、気道抵抗が上昇すると考えられています¹⁾。心臓手術が肺コンプライアンス、気道抵抗に与える影響を表1に示します。

麻酔導入後、小児のFRCは35%減少すると考えられています。その後、開胸により一部改善しますが、人工心肺開始、大動脈遮断で肺血流が途絶するとさらに減少します。大動脈遮断解除、人工心肺離脱に伴い肺血流が再開し、虚脱した肺胞を適切に拡張すると少し改善しますが、閉胸で減少し、その影響は術後90分経過しても継続します²⁾。人工心肺で肺血流が途絶すると、肺胞壁の構造に変化が生じ肺容量が低下し気道抵抗が上昇すると考えられています。心臓手術中の機能的残気量の変化を図2に示します。

したがって、小児の心臓手術中は時々刻々と変化するコンプライアンスや気道抵抗の変化に適切に対応する必要があります。エイシスCS²の大きな特徴のひとつである圧容曲線(P-V)、

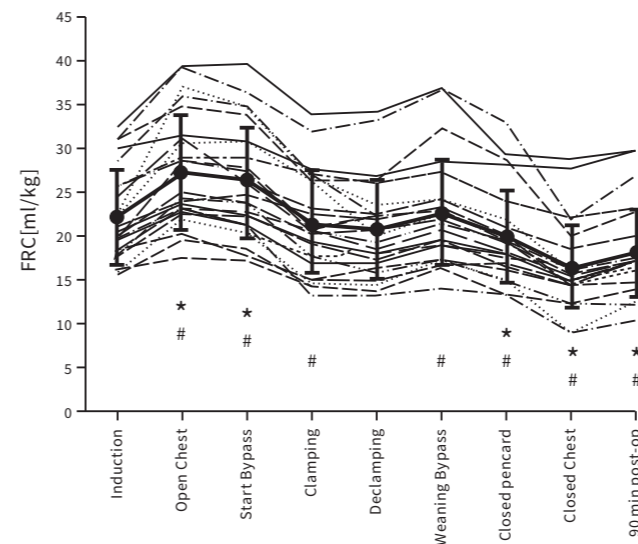


図2. 小児心臓手術中の機能的残気量の変化

* 導入時との比較で有意な変化、# 前値との比較で有意な変化を示す。(文献(2)より改変引用)

流量容積曲線(F-V)などのグラフィックモニター(図3)や、肺胸郭コンプライアンスのトレンド表示は、細かな変化を見つけるのに役立ちます。詳細は成書などを参照していただければと思いますが、基本的な圧容曲線(図4)の見方を若い先生方に学んでいただき、術中はその変化の解釈をしながら麻酔管理を行っていくと興味を持ってもらえるようです。

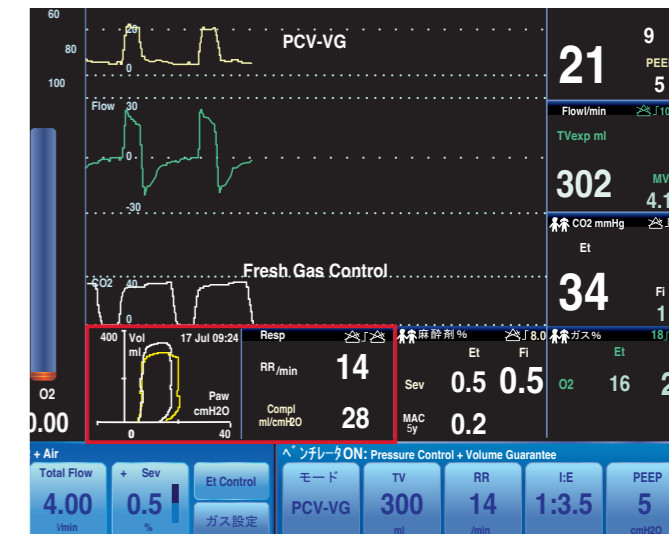


図3. PCV-VGモードで換気中の圧容曲線(P-V loop)とコンプライアンス表示。麻酔導入後のloopを保存しておくことで術中の変化を視覚的に捉えることができる。白のloopは導入後、波形を保存したもの。黄色のループは現在のもの。

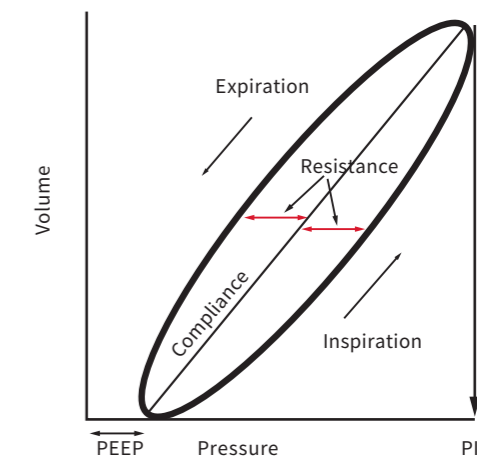


図4. 圧容曲線(Pressure-Volume loop)

吸気開始時と呼気開始時を結んだ曲線の傾きが(動肺)コンプライアンス(C=ΔV/ΔP) 気道抵抗が上昇した場合、曲線の幅が広がる。(文献(3)から改変引用)



III 換気モードの選択

小さな換気量を正確に供給するためには、蛇管や人工鼻などの呼吸回路自体のコンプライアンスを補正（回路コンプライアンス補正）や、一回換気量が新鮮ガス流量の影響を受けないようにするための吸気フローセンサー技術は必要不可欠な機能です。また、20mLの一回換気量を正確に供給することができ、2~3kgの小さな児に対しても使用できることが望まれます。エイシスCS²の駆動方式は呼気時上昇型ベロズタイプですが、最新の麻酔器ではベロズタイプでもピストンタイプでも設定した通りの一回換気量を非常に正確に供給できることが報告されています⁴⁾。

先天性心疾患手術の麻酔では、肺血流の変化を瞬時に捉えるために、正確な呼気終末二酸化炭素分圧モニタリングが大切です。そのため、われわれの施設では、心臓手術には原則としてカフ付きの気管チューブを使用しています。また、カフ付きの気管チューブを使用することで、より正確な一回換気量を供給することができます。小児麻酔といえば従圧式調整換気（PCV:pressure controlled ventilation）が標準的ですが、換気量保証従圧式調整換気(PCV-VG:pressure controlled ventilation volume guaranteed)では、PCVの利点を活かしながら、心臓手術中に時々刻々変化する肺コンプライアンスを一呼吸ごとに測定し、常に設定した一回換気量を正確に供給することができます⁵⁾。このことで、過大な換気量による肺損傷を防ぐことにもつながると期待しています。

IV 肺泡リクルートメント手技 (肺泡リクルートメント)

肺泡リクルートメントで虚脱した肺泡を再拡張させ、適切なPEEPを用いて肺容量を正常に保つことは、周術期の肺障害を防止するために重要と考えられています。FRCが減少した場合や気管吸引などFRCを減少させる可能性のある手技を行った場合には、肺泡リクルートメントを行うことで虚脱した肺泡を再拡張させることが大切です。特に小児の心臓手術ではFRCが減少しやすいことは前述した通りです。

大動脈遮断解除後、部分体外循環となり、肺への血流が再開された時点では人工心肺中に生じた肺泡虚脱は改善されませんが、十分に気管内分泌物を吸引したあと呼吸を再開しますが、この時点で肺泡リクルートメントを行い、完全に虚脱した肺泡や、虚脱・再開通を繰り返している肺泡を十分に開通させる必要があります。先天性心疾患の手術で人工心肺離脱後に肺泡リクルートメントとPEEPを併用した場合には、PEEPなし、PEEPのみの2群に比較してICU入室時の肺胸郭コンプライアンス、PaO₂/FiO₂比ともに優れていたと報告されています⁶⁾ (図5)。

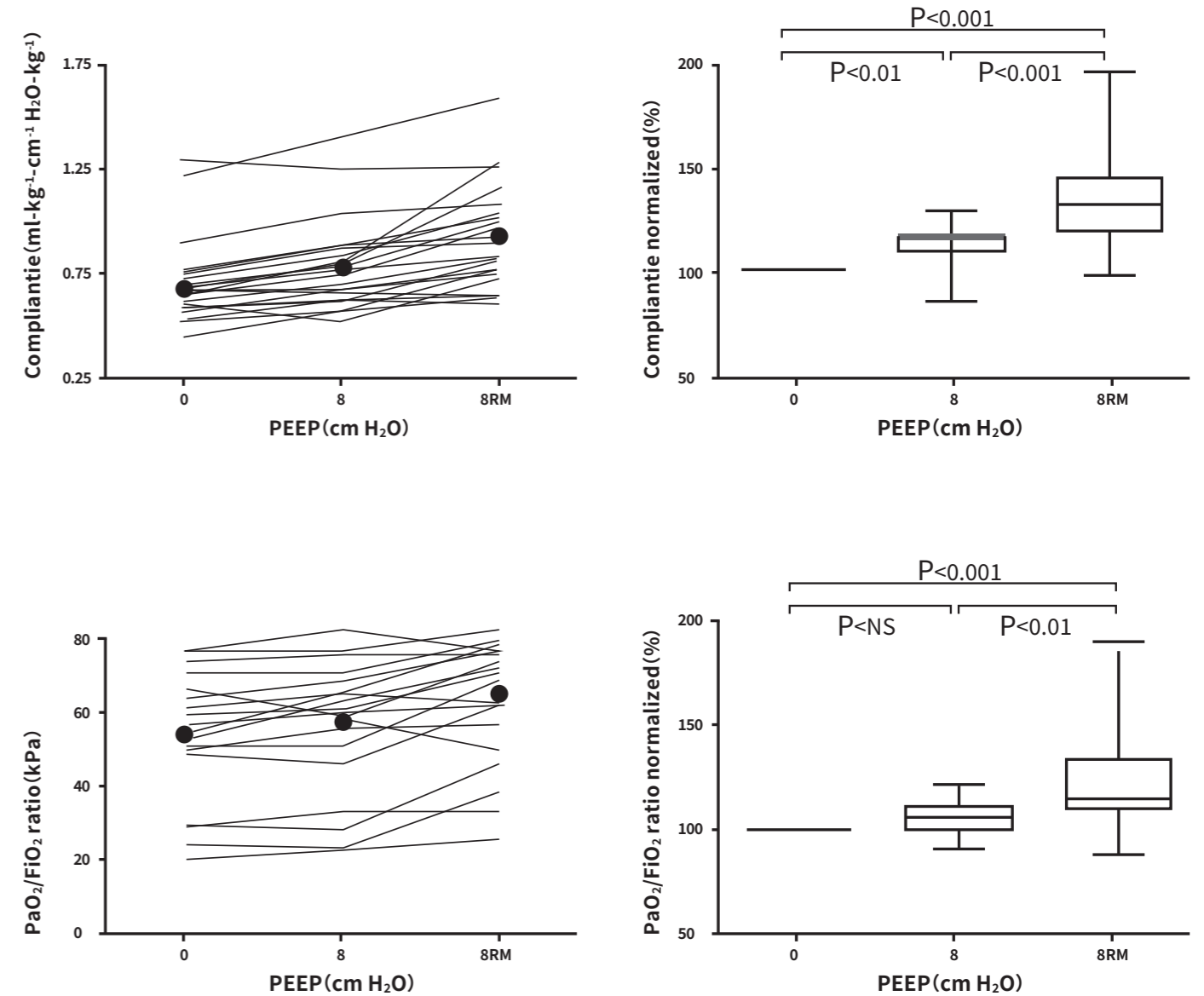
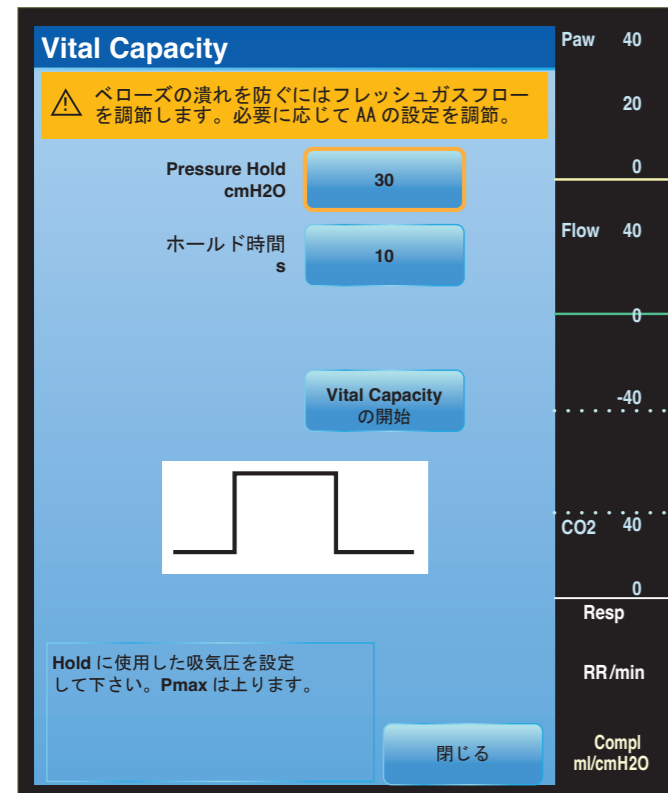


図5.人工心肺後に肺泡リクルートメントを併用した効果
上段縦軸:肺胸壁コンプライアンス、下段縦軸:PaO₂/FiO₂比
横軸:0;PEEPなし、8;PEEP8cmH₂Oのみ、8RM;PEEPと肺泡リクルートメント併用。
(文献(6)より改変引用)



肺泡リクルートメントは、用手的に行うこともできますが、エイシスCS²にはあらかじめ組み込まれたプロトコルを自動的に実行機能が付与されています。自動的に実行利点として、肺泡リクルートメント終了直後から適切なPEEPを付加することができる事が挙げられます。また、人工心肺離脱時には、経食道心エコー検査を行ったり、カテコラミンの投与を開始したりと、麻酔科医にとって繁忙な時期に、肺泡リクルートメントを自動で行ってくれて助かることもあります。用手的、自動的どちらの場合も、麻酔導入後に記録保存した圧容量曲線(図3)を対照に、同じ曲線を描けるようになるまで、気管内吸引や、肺泡リクルートメントを実施します。人工心肺前の肺胸郭コンプライアンスに戻らない場合には、無気肺や胸腔内への血液の垂れ込みを鑑別診断します。カフ付きの気管チューブは過剰なリークのない呼吸管理を行うことができ、肺泡リクルートメントにとっても有用となるでしょう。



エイシスCS²には、気道内圧とホールド時間を自在に設定できるvital capacityと、cyclingと呼ばれる陽圧呼吸やPEEPの条件を複雑に変化させて行う2つの肺泡リクルートメント方法が選択できます(図6)。肺泡リクルートメントのプロトコルは独自に設定することが可能で、各施設でさまざまなプロトコルが試されているようです。ただし、肺泡リクルートメントを小児の心臓手術で行う場合に注意しなければならないのは循環動態への影響です。人工心肺離脱後の肺泡リクルートメントで容易に低血圧、徐脈になることがあります。このような場合には、画面をタッチするだけで肺泡リクルートメントを即座に解除し、循環動態の安定を図ります。

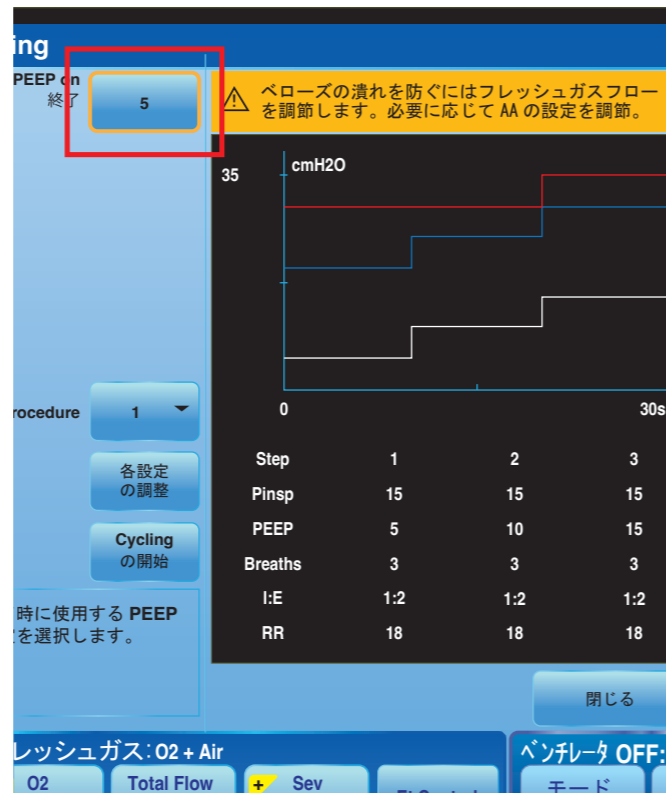


図6. エイシスに内蔵されている自動肺泡リクルートメント手技
左:vital capacity maneuver, 右:cycling protocol
cyclingを選択した場合には、画面上で「PEEP on終了」を設定し、適切なPEEPが終了直後から付加されるようにします。

V Pause gas flow (ポーズガスフロー)

小児病院特有の問題として、揮発性麻酔薬による手術室内汚染があります。余剰麻酔ガス排除装置や一定の機能を備えた空調が設備された現代の手術室では揮発性麻酔薬暴露による健康被害は少ないと考えられていますが⁷⁾、小児病院では日常的に揮発性麻酔薬による緩徐導入が行われており、マスク換気時の漏れやカフなし気管チューブからの漏れなどにより、環境基準を超えた麻酔ガスが一般病院に比較して高い濃度で検出されていると報告されています⁸⁾。エイシスCS²には、気管挿管時など新鮮ガスを必要としない時に流量を一時的(最長1分間)に停止する「ポーズガスフロー」(図7)という機能を備えています。また、この機能は、気管吸引や体位変換など、気管チューブから患者回路を一時的に外すような場面においても新鮮ガス流量の停止に加え、ベンチレータと関連するアラームの全てを一時的に停止します。この機能を活用することで少しでも小児病院手術室の揮発性麻酔薬による環境汚染が軽減することを期待しています。



図7. ガスフローを一時停止
気管挿管、気管吸引時など新鮮ガスフローを一時的に停止することで、揮発性麻酔薬による手術室内汚染を軽減することが期待される。

さいごに

より小さな子どもたちが、より大きな侵襲のある手術を受ける機会が増えてきました。子どもたちへの侵襲を少しでも軽減できる麻酔器、そして手術室で働く医療従事者にとっても優しい麻酔器として、エイシスCS²がますます進化していくのを楽しみにしています。