

Technology Insights 低流量および極低流量麻酔

低流量および極低流量麻酔は、肺を保護する上で大きなメリットがあります。このトピックについては、この手法の臨床上の利点に関するホワイトペーパーで、医学的観点から詳述しています [\(リンク\)](#)。

本記事では、安全に実施するための技術的な前提条件とそれをサポートするドレーゲルのテクノロジーについて詳しくご紹介いたします。

Technology
for Life

低流量および極低流量麻酔を行う際、換気に使用するガスを加湿・加温することによって肺を保護することには、大きなメリットがあります。冷たく乾燥したガスで換気した場合と比較して、粘液線毛クリアランスが改善され、呼吸器上皮の損傷や炎症性メディエーターの放出も減少します。低流量および極低流量麻酔における換気ガスの術中加湿・加温の臨床的メリットについては、次の臨床に関するホワイトペーパーをご覧ください [\(リンク\)](#)。

低流量フレッシュガスを使用した麻酔は、非常に安全で、患者さんにとって有益であり、経済的な上に環境保護にも貢献します。しかしながら、使用者は、低流量フレッシュガスを使用する麻酔システムの力学を把握し、安全な動作のために麻酔システムが満たす必要がある技術的前提条件を知っておく必要があります。本記事は、このような技術的前提条件に関する洞察を提供し、低流量および極低流量手技の活用をサポートして、様々なメリットを実現するドレーゲルのテクノロジーについてご紹介いたします。

2~6 L/分のフレッシュガスフローを使用する高流量手技では、利用可能な多量のフレッシュガスが常にシステ

低流量および極低流量麻酔の定義

多くの病院では、麻酔器は2 L/分から6 L/分のフレッシュガスフローで動作します。1 L/分まで下げたフローを低流量、0.5 L/分まで下げたフローを極低流量と呼びます。C. Hönemann氏とB. Mierke氏は、フレッシュガスフローを0.35 L/分まで減少させて安全に実施することが可能であると述べています [\(リンク\)](#)。この流量は各ガスの患者吸入に非常に近いため、彼らは代謝流量と呼んでいます。

詳細については、小冊子『Low-flow, minimal-flow and metabolic-flow anaesthesia 再呼吸システムで使用する臨床技術』(C. Hönemann/B. Mierke著)をご覧ください。小冊子のダウンロードは[こちら](#)。

ム内に確保されています。患者さんによるガス摂取量はごく少量のため、大量のガスが麻酔ガス排除装置により排出されます。その一方で、これによりガス濃度(O₂、揮発性麻酔薬)の変化をかなり迅速に達成することが可能になります。しかし、患者さんの肺やソーダライム(吸収剤)により生成される熱や湿度は失われ、システム内のガスは冷たく乾燥しています。それに加え、膨大な量のガスが無駄になります。

1 L/分以下の低流量フレッシュガスを使用した麻酔では、少量のフレッシュガスフローが気化器を通して呼吸システムに流入します。このようなシステムでは、ガス濃度の変化に対する反応が遅くなる可能性があることを使用者は考慮する必要があります。全身麻酔時の低流量フレッシュガスの使用については、C. Hönemann氏とB. Mierke氏による小冊子にて、非常に分かりやすく詳細なガイドランスが提供されています [\(リンク\)](#)。

さらに、低流量麻酔を安全に行うためには麻酔システムが特定の要件を満たしている必要があります。以下では、最も重要な要件の概要と、この重要な技術をサポートするドレーゲルの麻酔システムについての情報を提供いたします。

低流量麻酔の実施に使用する麻酔器が満たしていなければならない前提条件とは？

1. 気密性の高い呼吸システムと水分処理
2. 正確で安定したフロー測定と人工呼吸器テクノロジー
3. 十分な量の揮発性麻酔薬を投与する能力
4. 一回換気量に対するフレッシュガス設定の変化の影響
5. 信頼性の高いガス測定
6. 安全な低流量麻酔をサポートする各種高性能ツール

1. 気密性の高い呼吸システムと水分処理

低流量フレッシュガスを使用することで、呼吸システムに流入する患者摂取量以外の余分なフレッシュガス容量が減少します。これは、酸素および揮発性麻酔薬において特に重要となります。このため、低流量および極低流量麻酔（フレッシュガスフロー = 0.5~1 L/分）を実施する際は、気密性の高い呼吸システムの使用が前提条件となります。高流量フレッシュガスによるリークの補正が行われないためです。したがって、低流量麻酔中のリークは、呼吸システム内のガス量および組成にはるかに直接的な影響を与え、換気に影響を及ぼす可能性があります。最悪の場合、患者さんへの酸素および揮発性麻酔薬の供給が不十分となる可能性もあります。低流量麻酔中に安全な動作を確保するためには、様々な技術側面を考慮する必要があります。

- a. 呼吸システムは、リークによるガス損失量を最小限に抑えるために、できるだけ気密性に優れたものを使用する必要があります。呼吸システムは構成部品の数が少ないほど、リークの発生源が少なくなります。ドレーゲルの呼吸システムは非常に少ないパーツから構成され、接続部位数を減らして、リーク発生源を少なく抑えています。この構成はFabius、Primusファミリーの各製品にすでに採用されていますが、Perseus® A500は、わずか11個のパーツで構成されており、そのメリットが特に顕著です。

他社の麻酔システムとは異なり、ドレーゲルの装置では、フレッシュガスのリザーバーとして機能する呼吸バッグが呼吸システムと一体となっており、十分なフレッシュガスフローが供給されているかを確認するもう一つの指標となります。フレッシュガスが不足して呼吸バッグがしぼんでいる場合は、フレッシュガスフローを増加する必要があります。



Perseus® A500呼吸システムの構成部品

- b. フレッシュガスの流量が少ないため、呼吸回路内のガスがより迅速に加温・加湿され、臨床的に望ましい効果が得られます。しかし、高湿度は結露のリスクを生み、その結果、呼吸システム内の水分がシステムの性能や機能に影響を及ぼす可能性があります。

結露を最小限に抑えるために、ドレーゲルは、呼吸システムを能動的に加温して結露の生成を防ぐ機能を提供しています。この呼吸システムのヒーティング機能は、ドレーゲルのすべての呼吸システムでご使用いただけます。

Perseus® A500には、操作リストの最後などに呼吸システムのフラッシュと乾燥を行うソフトウェアオプションがあります。装置は一定時間、高流量でシステムのフラッシュを行い、Perseus® A500の呼吸システム内に生成されたわずかな結露を完全に乾燥させます。

- c. サンプルガスの使用は、低流量麻酔中は特に大きな影響を及ぼします。大部分の装置では、ガス分析のためにサンプルガスがおよそ200 mL/分で呼吸システムから抽出され、そのガスはシステムに戻されません。これは非常に大規模なシステムリークで、これが理由でこのような装置は、600または500mL/分未満の流量で動作することができません。ドレーゲルの麻酔システムでは、サンプルガスは呼吸システム内に確実に戻されます。ドレーゲルが使用する人工呼吸器テクノロジーは、あらゆるフレッシュガスフローで換気することが可能です。
- d. 麻酔システムのリークを管理するためには、リークの有無およびその規模を前もって認識しておくことができる様に、装置の準備段階、すなわちシステムのセルフテスト実行中にリークを検知し通知する機能が搭載されている必要があります。また、麻酔システムには、術中にフレッシュガスフローが十分であるかどうかを通知する機能も必要です。このトピックに関するスマートソフトウェアオプションについての詳細は、第6章の「高性能ツール」をご覧ください。
- e. 呼吸システム内のガス容量は、装置の時定数に多大な影響を及ぼします。これは、低流量フレッシュガスを使用する麻酔装置が変更された酸素または揮発性麻酔薬濃度を患者さんに供給するために要する時間を指します。フレッシュガスフローが低いほど、時定数が長くなります。同じことが、容量の大きい呼吸システムにも当てはまります。

ドレーゲルの麻酔装置は、呼吸システムの容量を抑え、時定数が短くなるように設計されています。さらに、当社の人工呼吸器テクノロジーはこの時定数にもプラスの影響を与えます。とPerseus®で採用されているブローテクノロジーが循環フローをもたらし、時定数の短縮に大きく貢献します。これは小児麻酔などで一回換気量が小さい場合に特に顕著となります。

2. 正確で安定したフロー測定と人工呼吸器テクノロジー

使用されているテクノロジーによって、フローセンサーが結露の影響を受けやすい場合があります。正確な測定が妨害される恐れもあります。結露水がセンサーに詰り、測定上の問題や完全な故障を引き起こすことも考えられます。このような測定法を採用している人工呼吸器では、正確な一回換気量を継続的に供給することが困難です。

ドレーゲルのフローセンサーは、熱線式流速計技術を使用しています。センサー内のワイヤーは規定の温度に加熱されており、規定のインピーダンス値が得られます。バイパスされた呼吸ガスにより温度が下がると、インピーダンス値が変わります。このインピーダンスの変化により、呼吸ガス流量が正確に測定されます。熱線式の採用により、このセンサーは湿度と結露に対する高い耐性を誇っています。そのため、ドレーゲルのセンサーは他社の多くのセンサーよりも非常に堅牢です。

フローセンサーが故障した場合も、PrimusとFabiusファミリーで使用されているピストン式人工呼吸器は、ピストンを上下に動かすステッパモーターにより、正確な一回換気量を継続して供給することが可能です。この技術では、人工呼吸器がピストンの位置を常に把握し、呼吸システム内に移動した容積を計算します。この安全機能により、ピストン式人工呼吸器はフロー測定の影響を受けません。

3. 十分な量の揮発性麻酔薬を投与する能力

低流量麻酔では、気化器を高く設定して補正を行わない限り、揮発性麻酔薬の供給は減少します。目標濃度を達成または維持するためには、特に、フレッシュガスフローを減少させて開始する場合、気化器は、高流量麻酔時の通常の設定よりはるかに高濃度のガスを供給する必要があります。例えば、セボフルランは最大7%、イソフルランは最大6%、デスフルランは最大14%の濃度が必要になります。

詳しい情報は、小冊子『Low-flow, minimal-flow and metabolic-flow anaesthesia 再呼吸システムで使用する臨床技術』(C. Hönemann/B. Mierke著) をご覧ください (ダウンロードはこちら: [リンク](#))。



Dräger Vapor 3000 / D-Vapor 3000

4. 一回換気量に対するフレッシュガス設定の変化の影響

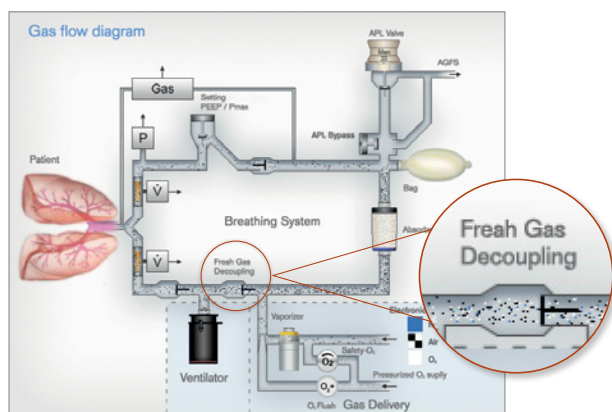
高酸素または麻酔薬をウォッシュインまたは手術の終了時に素早くウォッシュアウトする場合、流速設定を急速に上げる必要があります。使用されているテクノロジーによって、流速の急激な上昇により、吸気圧や患者さんに直接供給される一回換気量にピークを生じるリスクがあります。このリスクを軽減するために現在の市場で利用できる技術は2つあります。

a. フレッシュガス補正

フレッシュガス補正は、患者さんに供給される一回換気量をモニタリングするソフトウェアを基に行われます。吸気フローセンサーの信号を使用して、人工呼吸器からの供給量を調整し、フレッシュガスフローの変動を補正します。その結果、人工呼吸器が供給する一回換気量が設定よりも多いか、または少なくなる可能性があります。設定した一回換気量はフレッシュガスフローと共に達成されます。しかし、フレッシュガスフロー設定を急激に変化させた場合、システムの遅延により、人工呼吸器が供給する一回換気量を装置が適応させるまでに数秒かかります。これにより、一回換気量および吸気圧またはいずれかにピークが生じる可能性があります。

b. フレッシュガス ディカップリング

フレッシュガス ディカップリングは、換気への不要な影響を取り除くために、フレッシュガスフローを吸気から分離する機能です。FabiusとPrimusファミリーの麻酔装置では、バルブを利用して、フレッシュガスが呼吸システムへ流入するのを制御しています。吸気中に閉鎖されると、このバルブにより、フレッシュガスフローによる吸気圧および一回換気量への影響がなくなるため、吸気圧と一回換気量のピークは生じません。Perseus® A500では、フレッシュガスフローの換気への影響を防ぎ、同様の目標を達成するために、これとは



Primus®のガスフローダイアグラム

少し異なるテクノロジーを利用しています。Perseus® A500のプロワー式人工呼吸器は、呼吸システムの時定数をさらに低減するために吸気フロー中にフレッシュガスフローを能動的に使用しますが、残りの吸気相では特別にデザインされた吸気調整機能によりフレッシュガスフローを物理的に分離させます。したがって、換気に及ぼすフレッシュガスフローの望まれない影響を回避することができます。

5. 信頼性の高いガス測定

麻酔ガス測定

低流量および極低流量麻酔では、気化器の設定が患者さんに供給される実測値と大きく異なる場合があるため、正確なガス測定は極めて重要です。フレッシュガス流量の低下は、システムに流れる揮発性麻酔薬の容量低下につながります。目標MAC値を達成するためには、気化器を高流量麻酔で使用する場合よりも大幅に高く設定する必要があります。低流量および極低流量麻酔の間に達成された高湿度によって、ガス分析器に損傷を与える可能性のある結露が生じる場合があり、不確かな測定値、さらにはガス測定不良につながります。

このリスクを軽減するために、ドレーゲルのガス分析器にはすべて、呼吸ガスモジュールを結露や水分から保護するウォータートラップが装備されています。また、呼吸システム内の結露を防ぐウォータートラップ付き呼吸ホースもご利用いただけます。

酸素測定

使用されているテクノロジーによって、酸素センサー技術は正確に測定を行うために基準ガスを必要とします。この技術では、呼吸システムから抽出されたサンプルガスは異なる組成の基準ガス(室内空気、低酸素濃度、麻酔ガス含有なし)と混合されます。この技術を使用し、サンプルガスを呼吸システムに戻す装置では、呼吸システム内のガス組成に影響を及ぼす可能性があります。特に低流量および極低流量麻酔では、異なる組成のサンプルガスが戻されると、酸素や麻酔薬の濃度が低くなり、呼吸システム全体に窒素 (N₂) が蓄積する可能性があります。

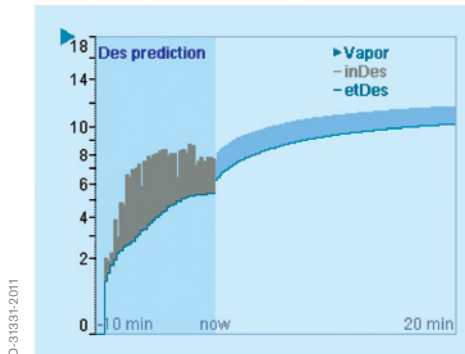
ドレーゲルの酸素センサーは基準ガスを必要としないため、呼吸システムのガス組成に影響を与えません。

6. 安全な低流量麻酔をサポートする各種高性能ツール

上述のように、低流量および極低流量麻酔を行う場合、リークと時定数を考慮する必要があります。使用者は、麻酔システムの力学を十分に理解している必要がありますが、フレッシュガスフロー不足の表示や濃度変化の予測するソフトウェアベースのツールを利用することができます。

- a. トレーゲル エコノメーターとローフローウィザードは、フレッシュガスフローをモニタリングし、不十分になった場合に視覚表示する機能です。このツールはまた、フレッシュガスフローが必要以上に高い場合に通知し、低流量の安全なフレッシュガスフローの達成をサポートします。この機能は、患者の摂取量、呼吸システムのリーク、ソーダライムによるCO₂の吸収量などのデータを分析し、このような数値を合わせたものを実際のフレッシュガスフローと比較することにより提供されます。(Perseus® エコノメーター&ローフローウィザードパンフレットへの[リンク](#))
- b. Dräger VaporViewとO₂予測は、Perseus® A500麻酔システムで利用可能な高度ソフトウェアツールで、次の20

分間の麻酔ガスおよび酸素濃度予測と過去10分間のトレンドを表示します。麻酔ガスおよび酸素濃度の次の20分間の動向が分かりやすいグラフで表示されるため、望まない濃度変化に対応する時間が十分に与えられます。また、変更を加えた際の効果を評価するのにも役立ちます。これらのツールは生理学的および技術的モデルに基づく計算と装置の気化器で設定された揮発性麻酔薬濃度を読み取る能力を基礎として動作します (Perseus®とVapor 3000 / D-Vapor 3000の併用でのみご利用いただけます)。



Perseus® A500のVaporView

- c. xMac計測 – 前述の予測ツールに加え、ドレーゲルの麻酔システムは、システムが十分な量の揮発性麻酔薬を供給するよう制御するためのもう一つの方法を提供しています。呼気の揮発性麻酔薬濃度の確認とは別に、年齢に応じたMAC (xMAC) を表示し、薬剤投与のための追加情報を提供します。これらの機能により、患者さんに供給されている現在のMAC値を把握することができます。この機能では、患者年齢をシステムに入力して年齢補正を行うことが重要です。

安全な低流量麻酔を行うための手順とは？

C. Hönemann氏とB. Mierke氏による低流量、極低流量、代謝流量の麻酔に関する小冊子では、臨床的観点から見た低流量麻酔を安全に適用するための背景知識と詳細な手順が提供されています。小冊子はドレーゲルのウェブサイトからダウンロードできます ([リンク](#))。

全製品、機能、またはサービスがすべての国で販売されているとは限りません。
記載された商標は、一部の国でのみ登録されており、この資料が公開される国で登録されているとは限りません。
現在の状況については、www.draeger.com/trademarks でご覧ください。

本社
Drägerwerk AG & Co. KGaA
Moisinger Allee 53-55
23558 Lübeck, Germany

www.draeger.com

製造業者：
Drägerwerk AG & Co. KGaA
Moisinger Allee 53-55
23542 Lübeck, Germany

*写真と実物が一部異なる場合があります。
あらかじめご了承ください。

製造販売業者
ドレーゲル・メディカル
ジャパン株式会社
お問い合わせ、ご用命は
カスタマーサービスへ
Tel 03-6447-7222
Fax 03-6447-7220

本社
〒141-0021
東京都品川区上大崎2-13-17
日黒東急ビル 4F

札幌サービスセンター
〒060-0007
北海道札幌市中央区北7条西
13-9-1
塚本ビル7号館

仙台サービスセンター
〒981-3133
宮城県仙台市泉区泉中央1-14-1
インテレクト21ビル4F

東京サービスセンター
〒135-0047
東京都江東区富岡2-4-10

名古屋サービスセンター
〒460-0008
愛知県名古屋市中区栄2-12-12
アーク栄白川パークビル7F

大阪サービスセンター
〒564-0062
大阪府吹田市垂水町3-3-17

広島サービスセンター
〒733-0002
広島県広島市西区楠木町2-2-27

福岡サービスセンター
〒812-0016
福岡県福岡市博多区博多駅南
2-12-3
トークン福岡ビル1F

お探しの地域の販売担当
者は下記リンクから検索可
能です：
www.draeger.com/contact

