



Carestation™ 600シリーズ 麻酔システム 肺保護ツール

クリニカル・フォーカス・ガイド

斬新なGE HealthCareの麻酔テクノロジーを用いることで、肺保護戦略をシンプルに実施し、術後肺合併症の低減に役立つことを学びます。

序説

過去数十年にわたって機械換気は大幅に進歩しましたが、術後肺合併症 (PPC) や人工呼吸器誘発肺傷害 (VILI) の可能性は依然として残っています^{1,2}。PPC の蔓延は頻繁に発生しており、かなりの罹患率と死亡率に関連しています。しかし、術中の肺保護換気戦略により PPC の発生率を低減できることがエビデンスによって示唆されています。³ GE Healthcare はヘルスケア技術のリーダーとして、機械換気を必要とする患者を安全に管理できる肺保護換気ツールの提供に取り組んでいます。Carestation™ 600 シリーズには、臨床医が肺保護換気を提供できるように設計された主要な機能が備わっており、患者ベンチレータケアと PPC の改善に役立ちます。

予測体重

機械換気の設定に際し、最初に一回換気量を決定するとき、臨床医は多くの場合、理想体重または予測体重 (PBW) を目安として使用します⁴。実測体重の代わりに PBW を使用する目的は、患者の実際の体重ではなく身長に対応する肺のサイズに基づいて、より適切な換気が患者に提供されるようにすることです。このため肺保護換気に関するガイドラインでは、患者の理想体重または予測体重に基づいて、1 回換気量を設定することが推奨されています。⁵

代用の体重測定値を計算するにはさまざまな方法があります。Carestation 600 シリーズで採用されている方法は、男女兼用の PBW モデル (PBWuf + MBW) を採用しています。この式では、計算に患者の身長のみが必要で、生物学的性別は必要ありません。(図 1) この方法は、ARDSNet の「女性」の公式を成人の性別に適用すると同時に、体重の中央値 (MBW) に的確に適合することで成人の範囲および低身長の体重予測との整合性を維持し、従来の方法と比較し、成人および低身長の人の除脂肪体重にさらに近似します。^{6,7} 男性患者の場合、男女兼用の PBW モデルを用いて最初に提供された換気量は、従来の PBW 男性式 (身長 152 cm で適用した場合) よりも最大 10% 減少し、男性の平均身長では換気量が 6% 減少します。(この差異は一回換気量で補正されます)

図 1. 予測体重の計算画面

採用された男女兼用モデルは、一般的に使用されている Devine 1974 PBW 男性/女性予測体重式とは異なります。この予測体重式は、さまざまな成人の身長と性別⁸での PBW を次の式で計算するために用いられています。

$$50 + (0.91 \times [\text{ht} - 152.4 \text{ cm}]) \text{ 成人男性用}$$

$$45.5 + (0.91 \times [\text{ht} - 152.4 \text{ cm}]) \text{ 成人女性用}$$

Carestation 600 シリーズで採用した身長に基づいた男女兼用 PBW モデルを、身長と性別に基づいた Devine 1974 の PBW とで比較しました (表 1)。表に含まれる身長は、低身長の患者 (< 60 インチ) から高身長の成人 (> 74 インチ) まで、臨床現場で一般的にみられる患者の範囲になります。両方の予測体重式に基づく PBW を、それぞれ 6 ml/kg および 8 ml/kg の PBW に基づいた適用一回換気量と共に比較します。6 ml/kg と 8 ml/kg は両方とも、臨床現場で一般的に使用される人工呼吸器における 1 回換気量の初期設定値です。

ユーザーによって設定された身長、または Carstation 600 シリーズのケースデフォルトで設定、保存された身長値を基に PBW を計算します。PBW は ml/kg 設定とともに使用され、[症例開始] および [患者属性] メニューで提供された初回の一回換気量設定を計算します。これは、ワークフローと手動計算の手間を簡素化するのに役立ちます。提供された初回の呼吸回数設定も PBW 値から得れます。

男女兼用 PBW モデルは、少数の小児にも適用されます。現在、小児の PBW を推定する単純な公式が存在しないことから有効です。肺保護換気の主要な PBW 式は、身長 152 cm/5 ft を超える場合の Devine 1974 モデルであるため、肺保護換気を小柄な小児患者にも拡張することを検討する場合、課題と複雑さが生じます。したがって、Carstation 600 シリーズに採用されている PBW モデルを使用すると、小児から成人までの 1 つの標準男女兼用モデルに対する PBW の計算が簡素化されます。⁵

ドライビングプレッシャー(駆動圧・ΔP)

研究では、術中換気を伴う患者のアウトカムマーカーとして(駆動圧)使用することが支持されています。Amato らによる 2015 年の研究では、駆動圧はリスクを最もよく階層化する換気変数であることが判明されています。また、呼吸器の設定の変更による ΔP の減少は、ARDS の生存率増加と強く関連していました⁹。

この研究では、ランダム化した後の一回換気量または PEEP の個々の変化は、生存率とは独立し関連しているわけではないことを強調しています。これらは、駆動圧の減少につながる変化の中に含まれる場合にのみ関連していました。

術中の人工呼吸器設定において、Neto らと Douville らは、駆動圧の上昇が PPC (術後肺合併症) と関連していること報告し、高い駆動圧は、機械換気を受けている重症患者の有害な転帰と関連しているが、一回換気量や PEEP とは関連していないと結論付けています。^{10,11}

さらに、術中設定でのランダム化比較試験では、患者は最小駆動圧による個別化した PEEP を受けるか、6 cmH₂O での固定 PEEP を受けるようランダムに割り当てられました。

表 1. 初回の一回換気量設定を確立するための身長に基づく PBW モデルの比較。

	Devine 1974 PBW Model		Unisex PBW Model	Carestation 600
	女性	男性	男女兼用	初期設定値
42 in. / 106.68 cm	N/A	N/A	17.1 kg	
VT @ 6 ml/kg	N/A	N/A	103 ml	100 ml
VT @ 8 ml/kg	N/A	N/A	137 ml	140 ml
58 in. / 147.32 cm	40.9 kg	45.4 kg	40.8 kg	
VT @ 6 ml/kg	245 ml	272 ml	249 ml	250 ml
VT @ 8 ml/kg	327 ml	363 ml	326 ml	325 ml
64 in. / 162.56 cm	54.7 kg	59.2 kg	54.7 kg	
VT @ 6 ml/kg	328 ml	355 ml	328 ml	325 ml
VT @ 8 ml/kg	438 ml	474 ml	438 ml	450 ml
70 in. / 177.8 cm	68.6 kg	73.1 kg	68.6 kg	
VT @ 6 ml/kg	412 ml	439 ml	412 ml	425 ml
VT @ 8 ml/kg	549 ml	585 ml	549 ml	550 ml
76 in. / 193.04 cm	82.5 kg	87.0 kg	82.4 kg	
VT @ 6 ml/kg	495 ml	522 ml	494 ml	500 ml
VT @ 8 ml/kg	660 ml	696 ml	659 ml	650 ml

この研究では、臨床的に重要な PPC(術後肺合併症)の発生率が、固定PEEP群と比較して個別化PEEP群で有意に低いことがわかりました。¹²

術中環境における最近の研究から得られたエビデンスは、PPCの予測と軽減における駆動圧の重要な役割を強調しています。高い駆動圧と有害な転帰との関連性について、駆動圧によるガイド換気を実施した場合、臨床的に重要なPPCの減少と相まって、臨床的関連性を明確に示しています。このことは、術中に機械換気を受ける患者の管理において、駆動圧を主要なパラメータとして含めることの重要性を強調しています。したがって、臨床医にとって、患者のアウトカムを改善し、PPCのリスクを低減するために、過剰な圧力に関連する潜在的な損傷を回避しながら、適切な換気サポートを提供し、バランスを注意深く管理する必要がある駆動圧のモニタリングは非常に重要です。

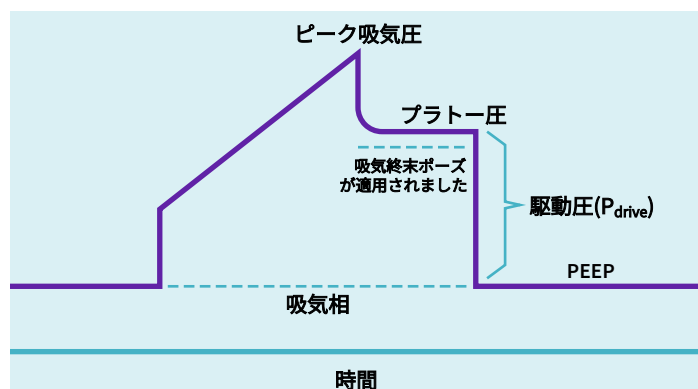


図 2. 駆動圧(P_{drive})はプラトー圧力とPEEPの差から算出されます。

Carestation 600 シリーズの場合、駆動圧 (P_{drive}) の計算には、患者の気道全体の圧力を均一にするための吸気終末ポーズ (T_{pause}) 操作による Flow ゼロの時間が必要です。このように、吸気ポーズ (T_{pause}) 中に測定される P_{drive} は、肺胞圧の代用測定値となります。静的な状態で測定される圧力はプラトー圧と呼ばれます。したがって、Carstation 600 シリーズでは、プラトー圧と PEEP の差を算出し P_{drive} としています (図 2)。

P_{drive} はVCVモードでのみ使用できることに注意することが重要です。吸気終末にポーズ状態を確保してプラトー圧を達成するには、 T_{pause} (吸気終末ポーズ) を「OFF」以外の値に設定する必要があります (図 3)。他の換気モードでは、 P_{drive} の代わりに P_{mean} が表示されます。

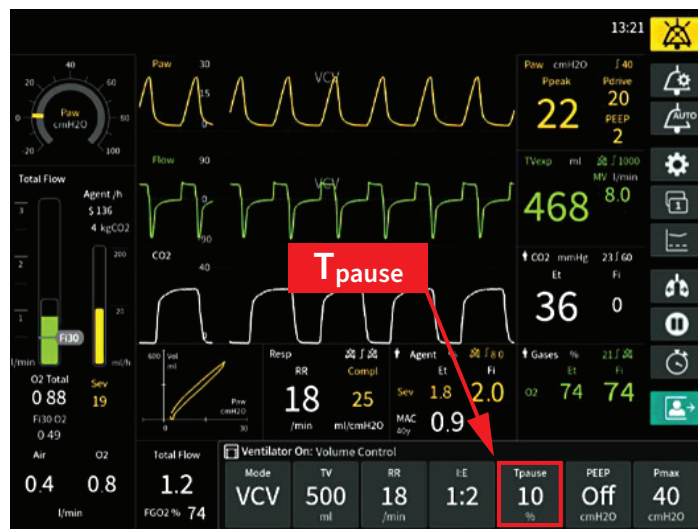


図 3. Carestation 600 シリーズ麻酔器の吸気終末ポーズ設定。

プレッシャーコントロール(PCV)

PCVでは、臨床医が吸気圧 (P_{insp}) と PEEP を選択します。選択した P_{insp} が PEEP に加算され、その合計がピーク圧 (P_{peak}) になります (図 4)。吸気流量がポーズおよびゼロの状態に達することがないため、PCVでは P_{drive} は表示されません。ただし、臨床医の中には P_{drive} の代わりに P_{insp} を用いる場合もあります。

リクルートメント手技

無気肺はすべての麻酔患者の約 90% に見られ、これが感染の病巣である可能性が高く、重篤な肺合併症の一因となる可能性があります。¹³ リクルートメント手技は、無気肺に対処するために肺のリクルートメントを実行する方法を提供します。

臨床医は、虚脱した肺胞を再開通させ、無気肺を軽減するためにこれらの処置を行います。リクルートメントの目的は、リクルートされた肺胞に関連する酸素化を改善するだけでなく、肺保護戦略の重要な要素である肺胞の拡張と収縮の繰り返しによって引き起こされる有害事象を防ぐことでもあります。¹⁴

シングル ステップ リクルートメント手技 (図 5) では、ユーザーが決定した設定時間の間、設定圧を継続的に提供します。この手技は、臨床現場で一般的に観察される用手換気に代わる正確で再現可能な方法を提供します。この手技は多くの場合 PEEP 送達の不足と関連しており、圧力の正確な制御が不足しています。

マルチステップリクルートメント手技 (図 6) を使用すると、ユーザーは一連の換気設定を構成できます。施行中に圧力が増加すると、動的コンプライアンスが測定され、ユーザーに提示されます (図 7)。これにより、人工呼吸器の設定を手動で複数変更することなく、機械換気中の一連の換気ステップを通じて圧力を増加させることができます。また、リクルートメント手技の終了時の PEEP を設定することで、リクルートメント終了後に設定された PEEP 値を適切に送達することもできます (図 6)。

一部の臨床医では、このリクルートメントツールを用いて、吸気と呼気中に肺胞を開いた状態に保ち、肺胞の拡張と収縮の繰り返しによって引き起こされる有害事象を防ぐための最適な PEEP 設定値を特定するのに使用しています。

2017 年に発表された Das らの研究では、PEEP の段階的な増加とそれに続く PEEP タイテーションにより、酸素化、CO₂ 除去、および dynamics train (動的変形量) が改善されたことが認められました。¹⁵

Carestation 600 バージョン 1 から 2 へアップグレードする場合は、次の点に注意してください。

- "シングルステップ"手技は、Carestation 600 バージョン 1 の"バイタルキャパシティー"手技と同じです。
- "マルチステップ"手技は、Carstation 600 バージョン 1 の"サイクリング"手技と同じです。

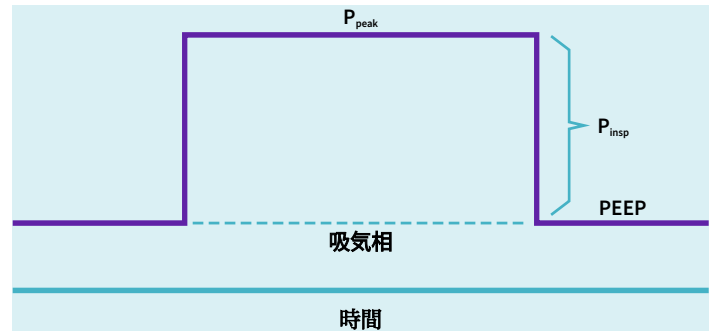


図 4. P_{insp} + PEEP の計算結果としてのピーク圧 (P_{peak})

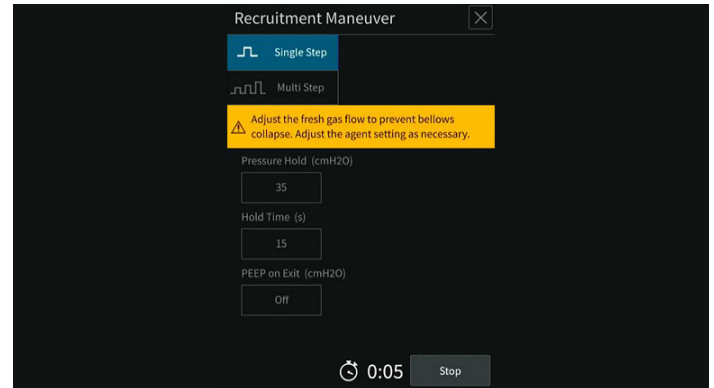


図 5. シングルステップリクルートメント手技の画面

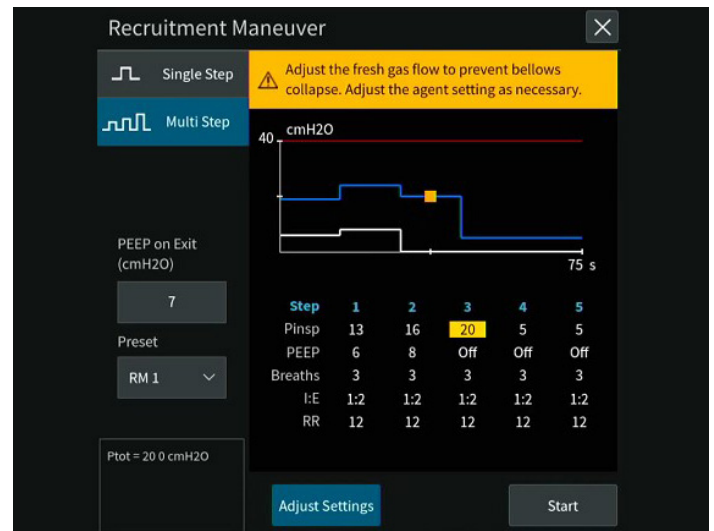


図 6. マルチステップリクルートメント手技の画面

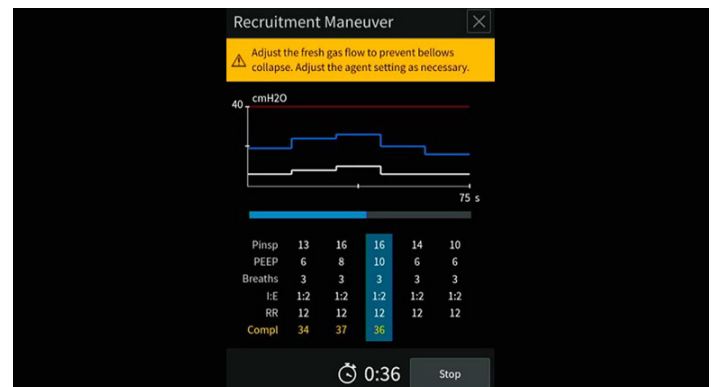


図 7. 動的コンプライアンスの測定

換気モード

Carestation 600 シリーズは、換気モード (VCV、PCV、および PCV-VG)、同期モード (SIMV VCV、SIMV PCV、および SIMV PCV-VG)、およびサポート モード (PSVPro および CPAP+PSV) を含む、包括的に組み合わせた換気モードを提供します (図 8)。患者の肺の状態に応じて、一連の換気モードから選択できるため、臨床医は適切な患者換気戦略を実行できます。

人工心肺モードは換気モード選択メニューに表示されることに注意してください (図 9)。

- 人工心肺モードには 2 つのモードがあります (図 9)。手動換気モード(オプション)の場合、患者換気に関連するアラームを中断します。
- VCV人工心肺モード(オプション)により、VCV モード中に機械換気が可能になります。人工心肺中に使用できる換気モードは VCV モードのみであることに注意してください。注釈: Davoudi らによって発表された前向き研究では、人工心肺 (CPB) 中に低一回換気量換気を継続すると、バイパス後の酸素化と肺メカニクスが改善されました。¹⁶

換気モード間の移行時に肺の保護を維持する

換気モードに移行すると、システムは前の換気モードの気道内圧または一回換気量の測定値を計算し、新しい換気モードの設定を自動的に提案します (図 10)。ユーザーは提案された設定を調整または確認だけなので、臨床医はより麻酔管理に集中できるようになります。

換気モードから移行するときにシステムが設定を提案する方法の詳細については、表 2 を参照してください。

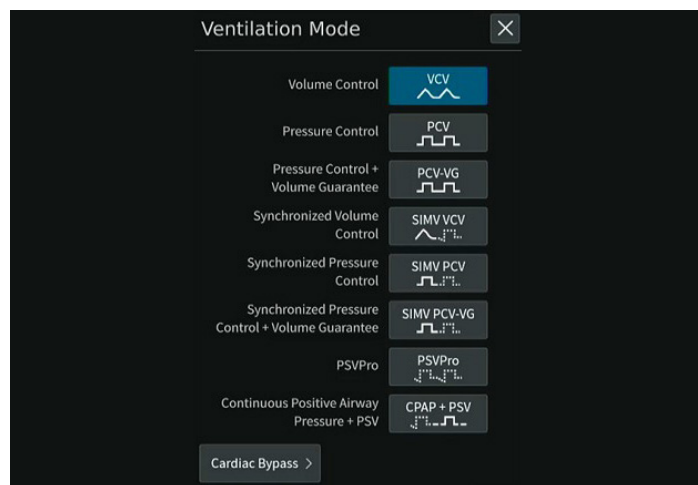


図 8. 換気モード選択メニュー。

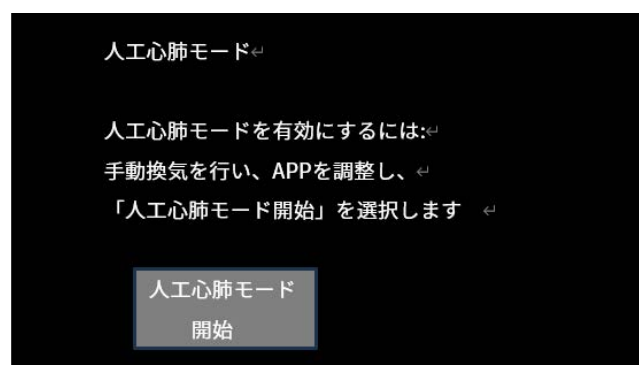


図 9. 人工心肺画面。

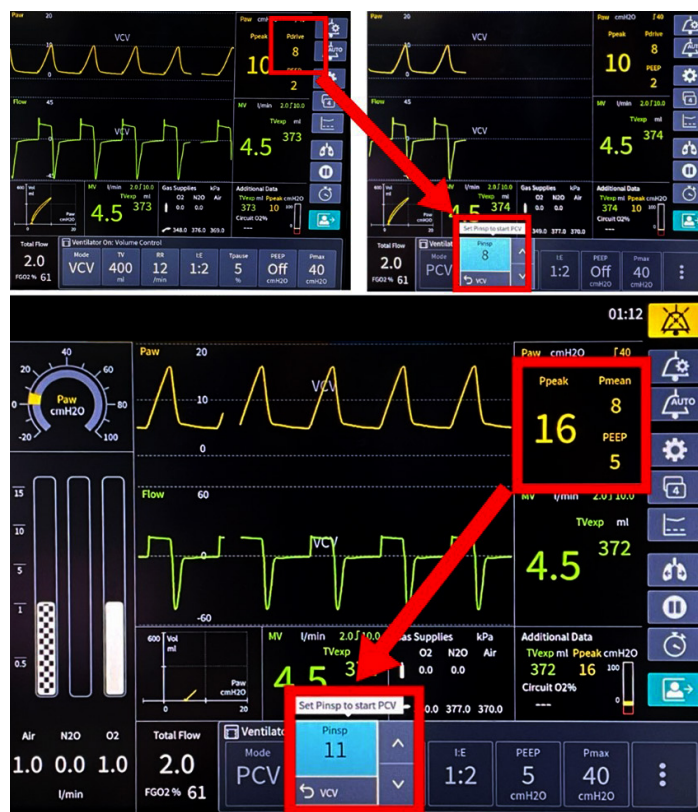


図 10. Carestation 600 システムによって提案される自動換気設定。

まとめ

6 ～ 8 ml/kg の PBW の一回換気量の使用、個別の PEEP およびリクルートメント手技を含む肺保護戦略の使用と、駆動圧を許容範囲内に維持することは、術後肺合併症の発生率を低減するために役立つ可能性があります。GE HealthCare のCarestation 600 シリーズは、臨床医が術中の治療を個別にカスタマイズするのに役立つ肺保護換気ツールを提供し、患者の健康を守り、向上させる上で一歩先を進む可能性を持っています。

表 2. Carestation 600 システムが換気設定を自動的に提案する方法

From	To						
	VCV	PCV-VG	SIMV VCV	SIMV PCV-VG	PCV	SIMV PCV	PSV PRO
VCV	設定したTVは変更されません				$P_{drive} \rightarrow \text{Set } P_{insp}$		
PCV-VG					または		
SIMV VCV					$P_{peak} - PEEP \rightarrow \text{Set } P_{insp}$		
SIMV PCV-VG					(P _{drive} が使用できない場合)		
PCV	$TV_{exp} \rightarrow \text{Set TV}$ (少なくとも1回の機械換気で有効)				Set P _{insp} は変更なし		
SIMV PCV							
SIMV PCV Backup							
PSV PRO							
CPAP PSV							

参考文献

1. Güldner A, Kiss T, Serpa Neto A, et al. Intraoperative Protective Mechanical Ventilation for Prevention of Postoperative Pulmonary Complications: A Comprehensive Review of the Role of Tidal Volume, Positive End-expiratory Pressure, and Lung Recruitment Maneuvers. *Anesthesiology*. 2015;123(3):692–713. doi:https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000754

2. Kelkar KV. Post-operative pulmonary complications after non-cardiothoracic surgery. *Indian J Anaesth*. 2015;59(9):599–605. doi:10.4103/0019-5049.165857

3. Young CC, Harris EM, Vacchiano C, et al. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *British Journal of Anaesthesia*. 2019;123(6):898–913. doi:https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.08.017

4. L'her, E., Martin-Babau, J. & Lellouche, F. Accuracy of height estimation and tidal volume setting using anthropometric formulas in an ICU Caucasian population. *Ann. Intensive Care* 6, 55 (2016). https://doi.org/10.1186/s13613-016-0154-4

5. Acute Respiratory Distress Syndrome Network, Brower RG, Matthay MA, et al. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2000;342(18):1301–1308. doi:10.1056/NEJM200005043421801

6. Linares-Perdomo, Olinto, et al. “Standardizing predicted body weight equations for mechanical ventilation tidal volume settings.” *Chest* 148.1 (2015): 73–78.

7. Martin DC, Richards GN. Predicted body weight relationships for protective ventilation-unisex proposals from pre-term through to adult. *BMC Pulm Med*. 2017;17(1):85. Pub. 2017 May 23. doi:10.1186/s12890-017-0427-1

8. In inches, the formula is: $50.0 + 2.3 \times (ht - 60 \text{ in})$ for Adult Male; $45.5 + 2.3 \times (ht - 60 \text{ in})$ for Adult Female

9. Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2015;372(8):747–755. doi:10.1056/NEJMsa1410639

10. Neto AS, Hemmes SNT, Barbas CSV, et al. Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *The Lancet Respiratory Medicine*. 2016;4(4):272–280. doi:https://doi.org/10.1016/s2213-2600(16)00057-6

11. Douville NJ, McMurry TL, Ma JZ, et al. Airway driving pressure is associated with postoperative pulmonary complications after major abdominal surgery: a multicentre retrospective observational cohort study. *BJA Open*. 2022;4:100099. doi:https://doi.org/10.1016/j.bjao.2022.100099

12. Zhang C, Xu F, Li W, et al. Driving Pressure-Guided Individualized Positive End-Expiratory Pressure in Abdominal Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Anesth Analg*. 2021;133(5):1197–1205. doi:10.1213/ANE.00000000000005575

13. Hedenstierna G, Edmark L. Mechanisms of atelectasis in the perioperative period. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2010 Jun;24(2):157–69. doi: 10.1016/j.bpa.2009.12.002. PMID: 20608554.

14. Santos, Raquel S., et al. “Recruitment maneuvers in acute respiratory distress syndrome: The safe way is the best way.” *World Journal of Critical Care Medicine* 4.4 (2015): 278.

15. Das, Anup, et al. “Hemodynamic effects of lung recruitment maneuvers in acute respiratory distress syndrome.” *BMC pulmonary medicine* 17.1 (2017): 1–13.

16. Davoudi, Maryam, et al. “The effect of low tidal volume ventilation during cardiopulmonary bypass on postoperative pulmonary function.” *The Journal of Tehran Heart Center* 5.3 (2010): 128.

販売名 : Carestation 600 シリーズ
承認番号 : 22700BZX00422000

すべての製品や機能が利用できるわけではありません。製品の完全な技術仕様は、ご要望に応じて入手可能です。詳細については、GEヘルスケアジャパンの担当者にお問い合わせください。データは変更される可能性があります。GE は、商標ライセンスに基づいて使用される General Electric Company の商標です。GE HealthCare からの事前の書面による許可がない限り、いかなる形式でも複製することは禁止されています。お客様の使用経験および文献に基づく記載です。仕様値として保証するものではありません。

