

特集 ■ NPPV/HFNC コラム

NPPV, HFNCのインターフェイス

その効果を最大限発揮するための適切な選択と正しい装着法

石橋 一馬 ISHIBASHI, Kazuma
神戸市立医療センター中央市民病院 臨床工学技術部

はじめに 非侵襲的呼吸補助 non-invasive respiratory support (NIRS) の進展に伴い、患者とデバイスをつなぐ「インターフェイス」の適切な選択と使用が、患者快適性やアドヒアランスに大きな影響を及ぼすことが知られている。近年では、そのインターフェイスの違いが臨床効果にも大きな影響を及ぼし、場合によっては予後を変える可能性すら示されている。またさらに非侵襲的陽圧換気療法 non-invasive positive pressure ventilation (NPPV) で使用される各種マスク、高流量鼻カニューレ療法 high flow nasal cannula (HFNC) で用いられる高流量鼻カニューレは、それぞれに形状・構造・装着感に特徴があり、その効果を最大限発揮するためには適切な選択とフィッティング技術が求められる。

本稿では、これらのインターフェイスの基本的な特徴、選定時のポイント、正しい装着法に加え、近年注目される新しいタイプの装着具についても概説する。

ICUにおける非侵襲的陽圧換気用インターフェイスの選択と特徴

フルフェイスマスク (図1)

フルフェイスマスクは、一般的には急性期領域のNPPVにおいて最も頻用されるインターフェイスである^{1,2)}。鼻と口を同時に覆う構造をもつため、口呼吸主体の患者であっても、吸気圧 inspiratory positive airway pressure (IPAP)、呼気終末陽圧 expiratory positive airway pressure (EPAP)、そして吸入気酸素濃度 (FiO₂) が比較的安定して維持できる¹⁾ 点が、急性呼吸不全の管理において大きな利点となる。さらに、装着と調整の容易さから、実務的にも医療スタッフが扱いやすいインターフェイスである。

一方で、この利便性が原因となり、

鼻梁や口周囲に医療機器関連の圧迫創 medical device related pressure ulcer (MDRPU) が発生しやすい⁴⁾ 欠点もある。Wei ら³⁾ による12件の前向き観察研究を含むメタ解析での前向き観察研究を含むメタ解析での顔面圧迫創の発生率は25% (95%信頼区間 15~37%, I² = 97.3%) と推定された。好発部位は、鼻翼5%, 頬3%, 鼻梁29%, 額4%と報告されている。また、装着時間の累積、糖尿病、発熱、顔面浮腫、低い GCS (Glasgow Coma Scale) が独立した危険因子であることが示されている。特に、装着開始後3~5日以内の早期発症が多いことから、導入直後の予防策が重要であるとされる。

予防策としては、適切なマスクフィッティング、サイズ選択に加えて皮膚保護材の使用が一般的である。

キーワード
マスク
カニューレ
医療機器関連の圧迫創

皮膚保護材はさまざまあり、なかでも鼻梁部へのヒドロコロイドドレッシングの貼付については、グレードII褥瘡の発生率を6%から0%に低減した無作為化比較試験 (RCT)⁴⁾ が報告されている。また、透明フィルムドレッシングの使用により、圧迫創の出現までの時間を延長できた⁵⁾ とする報告もある。これらをふまえると、NPPV 開始時に予防的に皮膚保護材を貼付することが推奨されるが、その場合に重要なのは、1日2回以上の丁寧な皮膚観察が指摘される^{5,6)}。

トータルフェイスマスク (図2)

トータルフェイスマスクは、額から顎下まで顔面全体を覆い、接触圧を広範囲に分散させる構造を有しており、鼻梁や口周囲の医療機器関連褥瘡 (MDRPU) リスクを軽減するた

図1 フルフェイスマスク (PHILIPS 社提供)

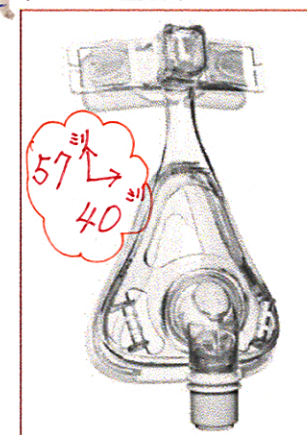
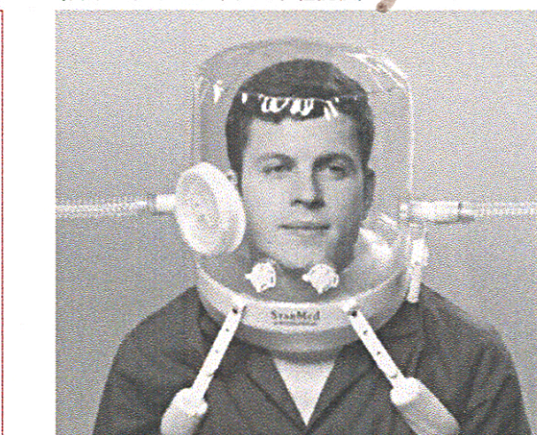


図2 トータルフェイスマスク (PHILIPS 社提供)



図3 ヘルメット型インターフェイス (日本メディカルネクスト社提供)



めの選択肢として用いられる^{1,2)}。フルフェイスマスクで皮膚障害、疼痛、不耐、あるいは顕著なリークが生じた場合の代替としてしばしば選択される^{1,7)}。RCT^{1,7)}において、トータルフェイスマスクはフルフェイスマスクと比べて、快適性やガス交換、挿管率に有意差は認められなかった。ただし、トータルフェイスマスク使用開始後に一定数が早期にフルフェイスマスクへ切り替えており、適合性や閉塞感が障害となる^{1,7)}ことも指摘されている。さらに、全顔を覆う利点の一方で、会話や経口摂取の制限、嘔吐時の誤嚥リスクといった欠点^{1,8)}も報告されている。

ヘルメット型インターフェイス (図3)

ヘルメット型インターフェイスは、透明な球状チャンパーで頭部全体を覆い、頸部シールで固定する構造をもつ。このため顔面皮膚への直接圧迫が回避され、MDRPUのリスクは低い^{41,8)}とされる。内部容積が大きいことから十分な二酸化炭素 (CO₂) ウォッシュアウトには高流量

のベースフロー設定が求められる一方、高いEPAPを安定的に維持しやすく、リークは比較的少ない^{8,10)}と報告されている。

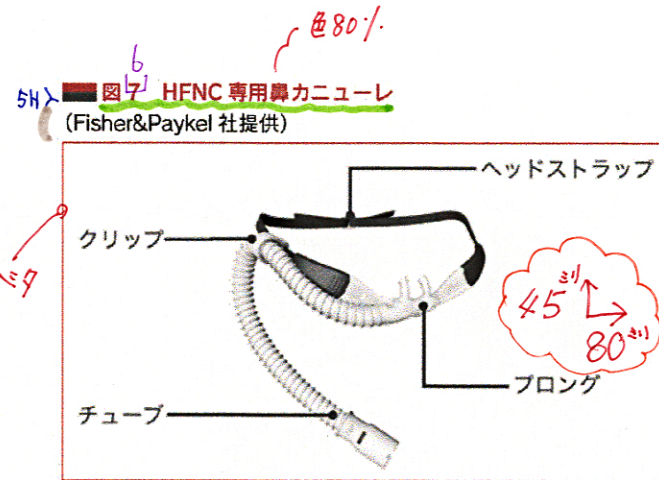
ヘルメットNPPVについての研究は比較的多く、2002年にはAntonelliら⁴¹⁾が急性呼吸不全についての症例対象研究において、高い圧の忍容性や有害事象の少なさについて報告している。急性呼吸促進症候群 (ARDS) を対象とした単施設RCT⁹⁾では、ヘルメットNPPVはフェイスマスクNPPVに比べ挿管率の有意な低下に加え、90日死亡率の低下を示した。これに対し、多施設共同RCT (HELMET-COVID)¹¹⁾では、通常の呼吸管理に対する28日死亡率の有意な低下は示されなかった。ただし、近年のネットワークメタ解析⁴²⁾においては、ヘルメットNPPVが死亡率、挿管率ともに低下させるとする報告もなされている。

欠点としては、死腔の大きさからトリガー性能についての不利⁴³⁾が指摘されており、同調性の確保が難しくなる場面がある。トリガーや圧支持 pressure support ventilation

(PSV) の細かな最適化、加湿・アラーム設定を含む運用面やヘルメット脱着も含めたスタッフの高度な習熟度が求められる^{8,10)}。また、日本においては、ヘルメットNPPVとして使用可能なデバイスは1種類のみである点や、医療コストも大きな障壁である。現状では、まだ急性呼吸不全に対してルーチンで用いることにはハードルが高い。

インターフェイス選択の考え方

ICUにおける急性期NPPVでは、前述のとおり、その簡便さや安定性から初期導入はフルフェイスマスクが第一選択と考えられることが多い。では、より臨床効果の高い可能性のあるヘルメット型インターフェイスはどうか。高EPAPにおける忍容性やMDRPU防止の観点からは有利な面があり、近年では生存率や挿管率の改善の点からも有用性が高い^{8~10)}と考えられる。しかし、医療コストや医療スタッフに要求する経験値や技術の面から、実際には第一選択とはなりにくい。ヘルメット型をどう位置づけるかは、施設の経験値その



- *1 例：水蒸気透過性素材
- *2 例：45回/min
- 9.5a ロダンB
- 9.5a ロダンM
- 13H
- 12.5a B太3 B101 (以下同)
- ①死腔換気の効率化：高回転呼吸や気流制限下でも有効で、CO₂ 貯留リスクの低減に寄与する。
- ② PEEP 効果の増強：非侵襲的に気道内圧を上げ、肺泡虚脱防止や酸素化改善に寄与する³⁰⁾。
- ③呼吸仕事量の低減：成人ICU症例で分時換気量と呼吸筋負荷の有意な低下³¹⁾が報告されており、特に高流量条件で顕著とされる。

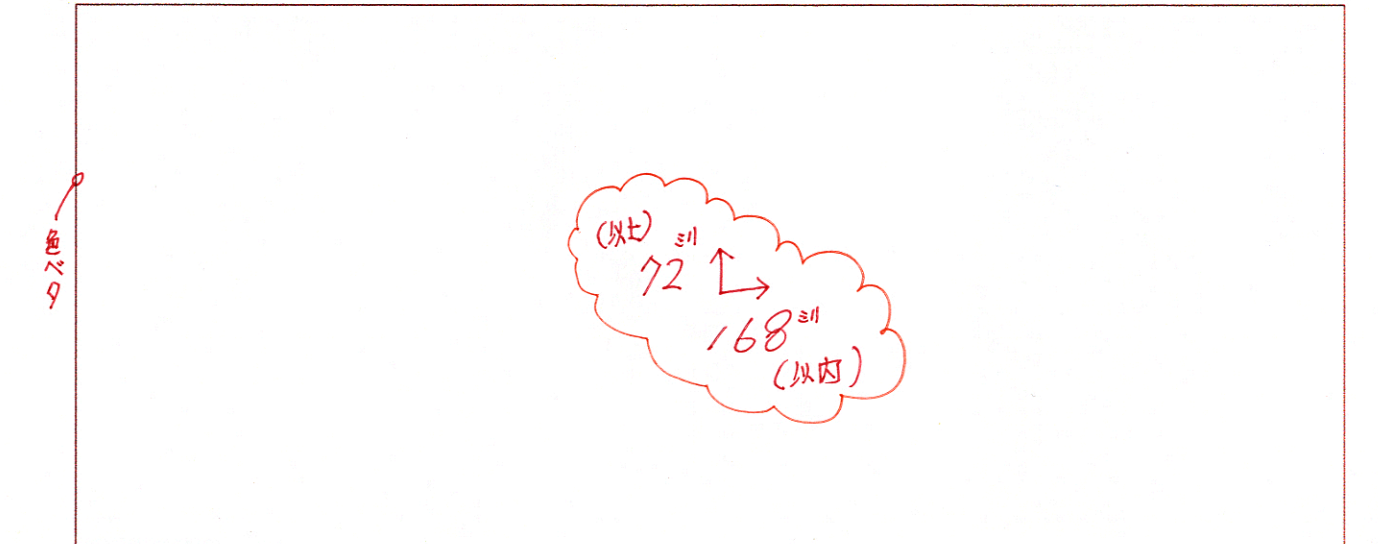
一方で、asymmetric HFNC の適応は鼻腔形態や忍容性の影響を受けるため、装着前に形状適合性の確認が推奨される。さらに、鼻閉や構造異常がある場合には効果が減弱する可能性があるため、個別評価が必要である。今後は、COPD や高二酸化炭素血症を呈する患者群における臨床試験による有効性検証が期待される。

現在のところ asymmetric HFNC は標準的な HFNC カニューレと比較して生理学的有効性が示されつつある状況であり、今後はさまざまな病態を対象とした臨床研究が期待される。

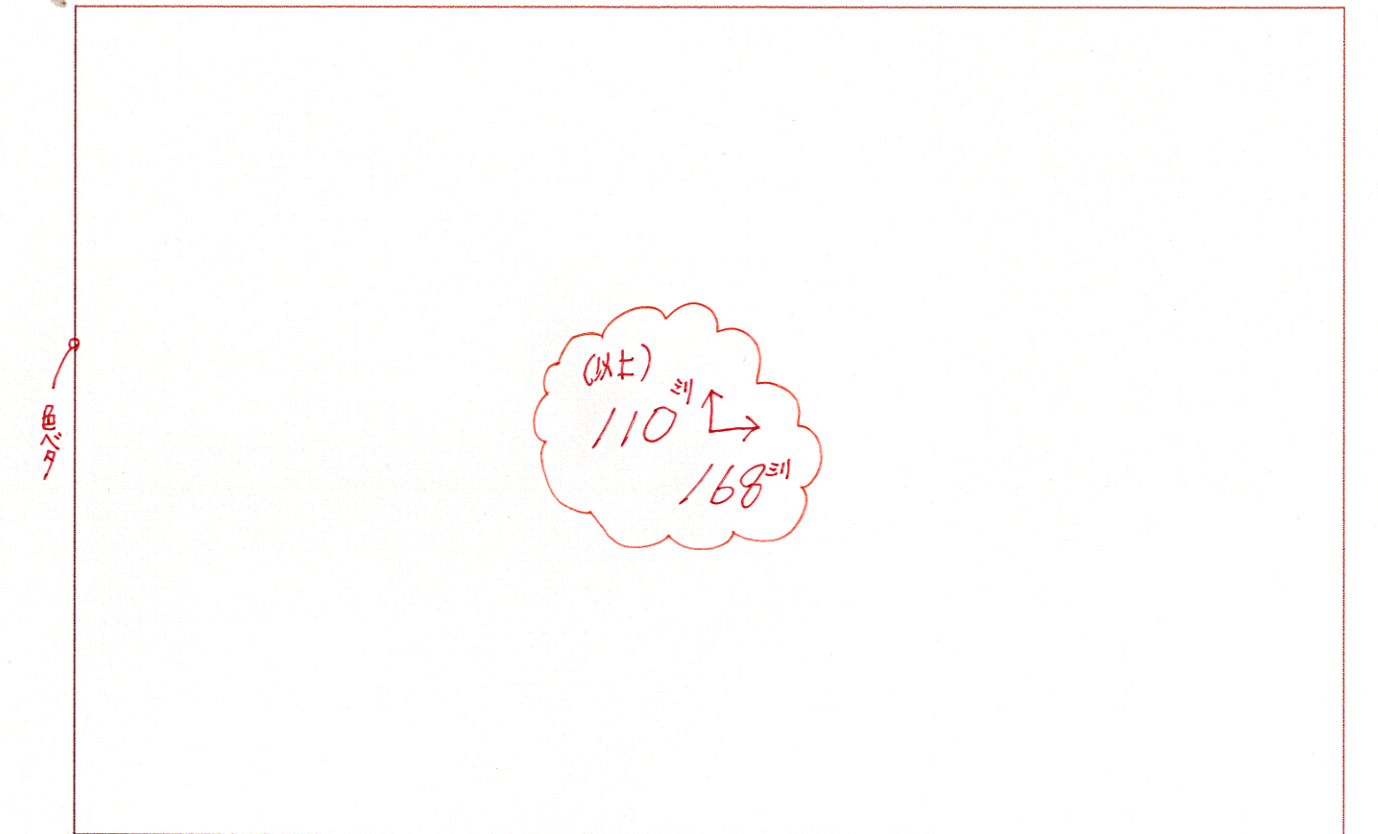
小児・新生児用

新生児・小児領域において大幅に HFNC の使用が拡大している。新生児・小児用カニューレも成人用の標準的 HFNC と基本コンセプトは同様だが、固定方法などで若干の独自性がある。特に、活動性や皮膚脆弱性について、強く配慮された専用設計がなされている。固定にはウィグルパッドと呼ばれる接着パッドを用い、カニューレを面ファスナーで脱着可能にすることで皮膚損傷を低減する方法がとられている³²⁾。特

- ④ PEEP 効果の増強：非侵襲的に気道内圧を上げ、肺泡虚脱防止や酸素化改善に寄与する³⁰⁾。
- ⑤呼吸仕事量の低減：成人ICU症例で分時換気量と呼吸筋負荷の有意な低下³¹⁾が報告されており、特に高流量条件で顕著とされる。
- ⑥死腔換気の効率化：高回転呼吸や気流制限下でも有効で、CO₂ 貯留リスクの低減に寄与する。
- ⑦ PEEP 効果の増強：非侵襲的に気道内圧を上げ、肺泡虚脱防止や酸素化改善に寄与する³⁰⁾。
- ⑧呼吸仕事量の低減：成人ICU症例で分時換気量と呼吸筋負荷の有意な低下³¹⁾が報告されており、特に高流量条件で顕著とされる。



- *1 例：水蒸気透過性素材
- *2 例：45回/min
- 9.5a ロダンB
- 9.5a ロダンM
- 13H
- 12.5a B太3 B101 (以下同)
- ①死腔換気の効率化：高回転呼吸や気流制限下でも有効で、CO₂ 貯留リスクの低減に寄与する。
- ② PEEP 効果の増強：非侵襲的に気道内圧を上げ、肺泡虚脱防止や酸素化改善に寄与する³⁰⁾。
- ③呼吸仕事量の低減：成人ICU症例で分時換気量と呼吸筋負荷の有意な低下³¹⁾が報告されており、特に高流量条件で顕著とされる。



ンで、局所圧迫を軽減する形状が採用される。ストラップは伸縮性素材で頭部形状に適応し、圧迫感を最小限にしつつ安定性を確保する。チューブには結露抑制素材^{*1}が用いられ商品もあり、長時間使用時の回路内水分蓄積を抑えるが、耐久性の面では他の部分よりは弱くなっている。標準的 HFNC カニューレは販売メーカーによって多少の差異はあるものの、おおむね同様の構造をとっているため、使用感での差は少ない²⁷⁾。

左右非対称ブロングの原理と効果
近年、特殊なカニューレとして左右非対称径のブロングをもつ高流量経鼻カニューレ asymmetric HFNC が開発されている。この構造は、一方の鼻孔を相対的に大きなブロングで高閉塞率 high occlusion とし、もう一方を小さなブロングで低閉塞率 low occlusion にすることで、鼻腔内に方向性フロー unidirectional flow を形成する²⁸⁾。この設計により、送気ガスは主に閉塞率の高い側から流入し、呼気ガスは閉塞率の低い側から効率的に排出される流路分離が可能となる^(図8)。

Tatkov ら²⁹⁾は、上気道解剖モデルおよび肺シミュレータを用いたベ

ンチ試験で、asymmetric HFNC と従来型 HFNC を比較し、死腔クリアランス anatomical dead space clearance と気道内圧 positive airway pressure (PEEP) を評価した。その結果、流量 20, 40, 60L/min のいずれにおいても従来型より死腔クリアランスが有意に高く、特に高流量時に最大 20% 以上の改善が確認された。また、閉塞率の増加により気道内圧も上昇し、20L/min で約 +1cm H₂O、60L/min では +2 ~ 3cmH₂O の PEEP 増強が得られた^(図9)。

さらに、光学モデルと赤外分光法による可視化解析では、大きなブロングを挿入した鼻孔の CO₂ 濃度は呼吸サイクル全体を通して低く保たれ、呼気ガスは閉塞率の低い鼻孔からすみやかに排出される様子が確認された²⁹⁾。この一方向流により、鼻咽頭内の呼気残留 CO₂ が効率的に除去され、換気効率が向上する。呼吸回数増加^{*2}や呼気流速制限〔慢性閉塞性肺疾患 (COPD) モデル〕下でも、asymmetric HFNC は従来型より優れた死腔クリアランスを維持した。

臨床的意義として、この構造は以下の利点をもたらす可能性が指摘されている。

メモ2 呼吸ポートか呼吸弁か、それが問題である

NPPVの呼吸経路には、大きく分けて「呼吸ポート方式 intentional leak port」と「呼吸弁方式 exhalation valve」の2種類がある。

呼吸ポート方式は、NPPV専用機に広く採用されており、マスクや回路に設けられた小径の開口部から呼吸を排出する。これはインテンシショナルリークと呼ばれる意図的な漏れであり、マスク内のCO₂を効率的に洗い流す役割を果たす。この方式は、**リーク補正能力が高く**、臨床的にはアンインテンシショナルリーク（意図的ではないリーク）が増加しても換気性能を比較的安定して維持できる³⁷⁾ことが報告されている。

一方、呼吸弁方式はICUで使用される人工呼吸器に採用されることが多く、弁の開閉によって吸気相と呼気相を切り替える閉鎖回路に近い構造をもつ。呼吸ポート方式と比較するとリーク補正能力が低く、特にアンインテンシショナルリークが多い条件下では、換気量やトリガー感度に影響が生じやすい³⁸⁾。また、閉鎖回路に近いことから、急性期・慢性期を問わずリーク補正の観点では選択されにくい³⁹⁾。

呼吸弁方式には呼吸換気量を測定できるという利点があり、条件が整えば安定運用も可能である⁴⁰⁾。しかし、その適応は慎重に見極める必要があり、NPPV専用機が選ばれる理由もここにある。やはり**餅は餅屋**であり、用途に応じた機器選択こそが「安全性と治療効果を高める最適解である」と考える。

や圧迫傷害、過小はリーク増加や鼻腔乾燥をまねく。ただし、患者の解剖学的特徴・年齢層・治療目的・忍容性を総合的に判断して行うことも重要である。

HFNCにおいても皮膚保護は重要であり、プロング接触部位やカニューレによる頬部の圧迫部位、耳介上部などでMDRPUが起きる可能性があるため、これらの部位に必要なに応じて皮膚保護材を用いることがある。NPPV同様に丁寧な観察および皮膚ケアを重視すべきである。

なお、asymmetric HFNCを使用する場合には、鼻腔形態によっては違和感を訴える場合があるため、注意が必要である。小児や新生児では皮膚保護を優先し、ウィグルパッドなど皮膚保護具の併用が望ましい。気管切開症例では、HFNC用気管切開インターフェイスの適合性とカニューレ形状を考慮し、呼吸負荷軽減と分泌物管理のバランスをとる必要がある^{25~36)} (メモ2)^{37~40)}。

おわりに

NPPVおよびHFNCにおけるインターフェイスのそれぞれについて概説した。非挿管である非侵襲的呼吸管理では患者との接触面であるインターフェイスの選択や装着方法は極めて重要である。新規インターフェイスの登場は非侵襲的呼吸管理の有効性を各段に飛躍させる可能性すらある一方で、不適切な使用は大幅に予後を悪化させる懸念もある。十分にそれぞれの特性を理解し、丁寧なケアを行うことが重要であると考えられる。

ス改善、PEEP効果による酸素化向上や経口摂取を妨げない³⁵⁾点が挙げられる。

成人および小児の研究³⁶⁾で、呼吸回数低下、経皮的動脈血酸素飽和度(SpO₂)改善、換気効率向上が報告されており、抜管困難例や慢性呼吸不全症例の在宅管理にも活用されている。

カニューレの選択と装着にあたっての注意点

asymmetric HFNCなど、今後さらにカニューレが進化する可能性はあるものの、現時点では標準的カニューレを用いることが妥当であろう。ただし標準的カニューレにもさまざまなサイズがあり、その選択は適切に行う必要がある。

成人、小児にかかわらず、まずはプロング径が重要となる。一般的にはプロング径が鼻孔の約50%を占めるサイズが推奨され、過大は閉塞

にカニューレの形態は細く作られているため、送気チューブは細径かつ内部にコイル状ワイヤーを内蔵し、キックによる流量低下を防止する方法がとられている。

なお、新生児・小児用カニューレにはさまざまなサイズがあるが、特に患者の鼻孔に合わせたサイズ選択が重要である。プロング径は鼻孔面積の約50%が推奨され、過小径では刺激や疼痛、過大径では閉塞や不快感を生じる可能性がある³³⁾。

HFNC用気管切開インターフェイス

特殊なHFNCの使用法として、気管切開患者にもHFNCは応用可能であり、専用のHFNC用気管切開インターフェイスが用いられる³⁴⁾。このインターフェイスは気管切開カニューレに直接接続し、高流量酸素・空気混合ガスを加温加湿して供給する。利点として、分泌物クリアラン

文献

- Scala R, Pisani L. Eur Respir Rev 2018; 27(149): 180029. PubMed | DOI: 10.1183/16000617.0029-2018 PMID: 00000000
- Rochwerf B, et al. Eur Respir J 2017; 50: 1602426. PubMed | DOI: 10.1183/13993003.02426-2016 PMID: 00000000
- Wei Y, et al. Int Wound J 2023; 20(1): 621-632. PubMed | DOI: 10.1111/iwj.13903 PMID: 00000000
- Gregoret C, et al. Intensive Care Med 2002; 28(12): 1691-1697. PubMed | DOI: 10.1007/s00134-002-1509-1 PMID: 00000000
- Schallom M, et al. J WOCN 2015; 42(3): 254-261. PubMed | DOI: 10.1097/WON.0000000000001111 PMID: 00000000
- Keenan SP, et al. JAMA 2003; 289: 2503-2510. PubMed | DOI: 10.1001/jama.289.19.2503 PMID: 00000000
- Girault C, et al. Am J Respir Crit Care Med 2003; 168(12): 1438-1444. PubMed | DOI: 10.1164/rccm.200302-265OC PMID: 00000000
- Navalesi P, Gregoret C. Minerva Anestesiol 2014; 80(6): 706-719. PubMed | DOI: 10.1186/s13054-021-03704-1 PMID: 00000000
- Pisani L, et al. Crit Care 2021; 25: 262. PubMed | DOI: 10.1186/s13054-021-03704-1 PMID: 00000000
- Patel BK, et al. JAMA 2016; 315(22): 2435-2441. PubMed | DOI: 10.1001/jama.2016.6338 PMID: 00000000
- Grieco DL, et al. JAMA 2022; 328(11): 1063-1072. PubMed | DOI: 10.1001/jama.2022.15512 PMID: 00000000
- Tayyib N, et al. Crit Care Nurse 2021; 41(1): 24-47. PubMed | DOI: 10.4037/ccn2021994 PMID: 00000000
- Bishopp A, et al. BMJ Open Respir Res 2019; 6: e000394. PubMed | DOI: 10.1136/bmjresp-2018-000394 PMID: 00000000
- Navalesi P, Gregoret C. Minerva Anestesiol 2014; 80(6): 706-719. PubMed | DOI: 10.1186/s13054-021-03704-1 PMID: 00000000
- Racca F, et al. Intensive Care Med 2009; 35(9): 1659-1666. PubMed | DOI: 10.1007/s00134-009-1506-7 PMID: 00000000
- Gefen A. Ostomy Wound Manage 2008; 54(10): 26-35. PubMed | DOI: 10.1007/s00134-009-1506-7 PMID: 00000000
- Carron M, et al. Respir Care 2012; 57(11): 1932-1937. PubMed | DOI: 10.4187/respcare.01659 PMID: 00000000
- Black JM, et al. Int Wound J 2010; 7(5): 358-365. PubMed | DOI: 10.1111/j.1742-481X.2010.00699.x PMID: 00000000
- Callaghan S, et al. J Tissue Viability 2018; 27(4): 257-263. PubMed | DOI: 10.1016/j.jtv.2018.06.001 PMID: 00000000
- Nakanishi N, et al. Acute Med Surg 2015; 2(4): 294-300. PubMed | DOI: 10.1002/ams2.131 PMID: 00000000
- Black JM, et al. Crit Care Nurse 2010; 30(4): 44-53. PubMed | DOI: 10.4037/ccn2010431 PMID: 00000000
- Baba Y, et al. Proc IEEE EMBC 2020; 4446-4449. PubMed | DOI: 10.1109/EMBC44109.2020.9175605 PMID: 00000000
- Umeda A, et al. (Nihon Kohden Tech Spec) — [公式サイト] (https://www.nihonkohden.com/) PMID: 00000000
- Sakuraya M, et al. J Intensive Care 2022; 10: 17. PubMed | DOI: 10.1186/s40560-022-00584-5 PMID: 00000000
- Nishimura M. J Intensive Care 2015; 3: 15. PubMed | DOI: 10.1186/s40560-015-0084-5 PMID: 00000000
- Dysart K, et al. Respir Med 2009; 103(10): 1400-1405. PubMed | DOI: 10.1016/j.rmed.2009.04.007 PMID: 00000000
- Chikata Y, et al. Respir Care 2014; 59(8): 1186-1190. PubMed | DOI: 10.4187/respcare.02952 PMID: 00000000
- Ritchie JE, et al. Anaesth Intensive Care 2011; 39(6): 1103-1110. PubMed | DOI: 10.1177/0310057X1103900620 PMID: 00000000
- Tatkov S, et al. Physiol Rep 2024; 12

- (1): e15678. PubMed | DOI: 10.14814/phy2.15678 < PubMed | DOI は? Physiological Reports のホームページでe15678を探す? >
- Parke R, et al. Br J Anaesth 2009; 103(6): 886-890. PubMed | DOI: 10.1093/bja/aep280 PMID: 00000000
- Frat JP, et al. N Engl J Med 2015; 372: 2185-2196. PubMed | DOI: 10.1056/NEJMoa1503326 PMID: 00000000
- Manley BJ, et al. N Engl J Med 2013; 369: 1425-1433. PubMed | DOI: 10.1056/NEJMoa1300071 PMID: 00000000
- Wilkinson D, et al. Cochrane Database Syst Rev 2016; CD006405. PubMed | DOI: 10.1002/14651858.CD006405.pub3 PMID: 00000000
- Chikata Y, et al. Respir Care 2014; 59(8): 1190-1196. PubMed | DOI: 10.4187/respcare.02947 PMID: 00000000
- Corley A, et al. Intensive Care Med 2017; 43(3): 465-467. PubMed | DOI: 10.1007/s00134-016-4616-8 PMID: 00000000
- L'Her E, et al. Am J Respir Crit Care Med 2005; 172(9): 1112-1118. PubMed | DOI: 10.1164/rccm.200503-360OC PMID: 00000000
- Hess DR. Respir Care 2013; 58(6): 950-969. PubMed | DOI: 10.4187/respcare.02319 PMID: 00000000
- MacIntyre NR. Respir Care 2019; 64(6): 640-649. PubMed | DOI: 10.4187/respcare.06674 PMID: 00000000
- Luján M, et al. Respir Care 2019; 64(4): 394-403. PubMed | DOI: 10.4187/respcare.06927 PMID: 00000000
- Brill AK. Breathe 2014; 10(3): 230-242. PubMed | DOI: 10.1183/20734735.008414 PMID: 00000000
- *Antonelli M, et al. Crit Care Med. 2002; 30: 602-608 PMID: 00000000
- **Pitre T, Zeraatkar D, Kachkovski GV, et al. Chest. 2023; 164: 913-928. PMID: 00000000
- ***Maxime Patout, et al. Chest. 2021; 160: 175-186 PMID: 00000000