

特集 ■ NPPV/HFNC

NPPV, HFNC 中の
モニタリング

次世代の呼吸管理と遅延挿管の回避

岡野 弘 OKANO, Hiromu
聖路加国際病院 集中治療科

はじめに 色60% + スミ20% (Y100≒11)

本稿では、急性呼吸不全 acute hypoxemic respiratory failure (AHRF) に対して広く用いられる非侵襲的呼吸補助 non-invasive respiratory support (NIRS), 特に非侵襲的陽圧換気療法 non-invasive positive pressure ventilation (NPPV) および高流量鼻カニューレ酸素療法 high flow nasal cannula (HFNC) 中の生理学的モニタリングを体系的に概説する。NIRS は、挿管および侵襲的機械換気に伴う合併症を回避し、呼吸仕事量の軽減や快適性の向上といった利点を有する。一方で、NIRS の不適切な延長や NIRS の失敗高リスクを早期に特定できず、適切な挿管判断が遅れることは、自己誘発性肺障害や呼吸筋疲労を惹起し、予後を悪化させることが知られている。とりわけ、気管挿管の遅延は死亡率の上昇と強く関連することが報告されており、早期に NIRS 失敗を識別するモニタリング戦略の確立が臨床的に極めて重要である。

非侵襲的呼吸補助(NIRS)
における「診る力」の再認識

AHRF は ICU における主要な疾患であり、その管理は予後に直結する。NIRS は、人工呼吸器関連肺損傷 ventilator-induced lung injury (VILI) などの気管挿管による人工呼吸による合併症を回避できる手段として広く使用されている¹⁾。しかし NIRS は万能ではなく、不適切な使用やその失敗は、自己誘発性肺障害 patient self-inflicted lung injury (P-SILI) や呼吸筋疲労を引き起こし、予後を悪化させるおそれがある^{2,3)}。そのため、包括的かつ個別化されたモニタリング戦略が今後の課題である。

NIRS 失敗と遅延挿管による予後悪化の因果関係には、次の3つの機序が関与する可能性がある。①過度な呼吸努力による肺や横隔膜、筋肉の障害 (P-SILI など)^{4~6)}、②酸素供

給能の低下、③挿管や侵襲的換気に伴う合併症 (鎮静、VILI など)⁷⁾。したがって、NIRS 導入に際しては、患者の重症度や併存疾患、呼吸努力、病状の推移を総合的にモニタリングし、肺や横隔膜への損傷を防ぎつつ、適切な酸素供給を維持することが極めて重要である。

このような背景から、NIRS 中の患者の状態を継続的かつ客観的に評価し、NIRS の成功/失敗を早期に判断するためのモニタリング戦略の確立が喫緊の課題となっている

NIRSの生理学的基盤と
モニタリング

NPPVの生理学的効果

NPPV には、持続的気道陽圧 continuous positive airway pressure (CPAP) と、吸気圧補助を伴う非侵襲的換気モードである

キーワード
AHRF
NIRS
モニタリング
診る力

色70% + スミ20% (以下同)

活用 (以下同)

NPPV, HFNC 中のモニタリング

6
1/2 ロット B (以下同) レ ス 70% (以下同)

40
continuous positive airway pressure (CPAP), bilevel positive airway pressure (Bi-level), spontaneous/timed (S/T), pressure support ventilation (PSV) がある。

13a ロット B (以下同)

● CPAP ス 70%
一定の呼気終末陽圧 positive end-expiratory pressure (PEEP) を維持することで、上気道の閉塞を物理的に防ぎ、呼気終末肺容量を増加させる⁸⁾。

● Bi-level, S/T, PSV ス 70%
PEEPに加えて吸気圧補助 pressure support (PS) を提供することで、呼吸仕事量の軽減、呼吸メカニクスとガス交換の改善をもたらす⁹⁾。

● インターフェースの選択 ス 70%
フェイスマスク、鼻マスク、ヘルメットなどがある。ヘルメット型 NPPV は、フェイスマスクと比較してリークが少なく、快適性が高く、より高い PEEP を維持できる利点がある^{10, 11)}が、十分に普及していないのが現状である。

● 加湿 ス 70%
患者の忍容性と治療成功率を向上させるうえで、適切な加湿は極めて重要である¹²⁾。

高流量鼻カニューレ酸素療法 (HFNC) の生理学的効果

HFNC は、高流量かつ加湿加湿された酸素を供給することで、複数の生理学的効果をもたらす。

● 安定した FiO₂ 供給と死腔ウォッシュアウト ス 70%
高流量 (50 ~ 60L/min) により、吸気時に周囲の空気を巻き込むことを最小限に抑え、安定した吸入酸素濃度 (FiO₂) を供給する¹³⁾。また、上気道の解剖学的死腔に溜まった CO₂ を洗い流すことで、CO₂ の再呼吸を減少させ、呼吸ドライブおよび吸気努力を軽減する¹⁴⁾。

● 軽度 PEEP 効果と換気分布の改善 ス 70%
適切な流量設定と密閉性のあるカニューレにより、呼気時にわずかな PEEP を発生させる (1 ~ 7cmH₂O)^{15, 16)}。これにより肺胞のリクルートメントが促進され、換気分布が改善し、酸素化が向上する。

● 呼吸仕事量の軽減と呼吸回数の減少 ス 70%
上記の生理学的効果の組み合わせにより、患者の呼吸仕事量が軽減され、呼吸数が減少する¹⁴⁾。

NIRS の適切なモダリティ選択と、NIRS が不適切であることの早期認識には、「生理学に基づいた意思決定」が不可欠である。これは、呼吸メカニクスや臓器障害の程度を考慮に入れることを意味する。モニタリングは、生理学的効果とリアルタイムの患者を関連づける重要な手段となる。全身状態が不安定な重症患者 (例: 昇圧薬持続投与、多臓器不全、広範な肺傷害) では、NIRS の利益は限定的で、挿管遅延のリスクがある。適切なモニタリングとタイムリーな挿管判断が重要である^{17, 18)}。

生理学的モニタリング

NIRS 中のモニタリングの目標は、①治療反応の評価、②設定の調整、③侵襲的人工呼吸器管理 invasive mechanical ventilation (IMV) への移行が必要な患者の早期特定である。

以下が管理のポイントとなる。なお、それぞれへの介入は、NPPV であればインターフェース再評価、PS/PEEP の増強を検討し、NPPV/HFNC とともに体位最適化、鎮静の調整を行い、反応が乏しければ IMV 移行を低い閾値で検討することとなる。

臨床的評価

● 呼吸困難と快適性 ス 70%
意義: 呼吸困難は、NIRS 失敗や挿管、死亡

40
の独立した予測因子である^{19, 20)}。また、インターフェースへの不耐性や不快感は、NPPV 失敗の直接的な原因となる^{21, 22)}。

測定: 意識のある患者では、視覚的アナログスケール (VAS) や数値評価スケール (NRS) を用いて評価する²³⁾。

解釈: 呼吸困難の持続または悪化は、呼吸努力の持続、インターフェースの不適合、不適切な設定を示唆する。

● 呼吸パターンと補助筋使用 ス 70%

意義: 鼻翼呼吸、奇異呼吸、胸鎖乳突筋や斜角筋などの補助呼吸筋の使用は、高い呼吸ドライブや呼吸努力を示唆する²⁴⁾。

測定: 視診・触診を基本とし、注意深い経過観察 (姿勢変化・会話・咳嗽での変動も確認) を行う。

解釈: 所見が持続または増悪する場合は失敗高リスクと認識する。

定量的生理学的モニタリング

● 基本的変数 ス 70%

● 一回換気量 (Vt) 13a ヴラキ/明報 w6 (以下同)
色ベタ+ス 40%

意義: NPPV 中の呼気 Vt は呼吸努力の出力であり、肺ストレスの主要決定因子。高 Vt (おおむね $\geq 9 \sim 9.5$ mL/kg 予測体重) はフェイスマスク NPPV 失敗や転帰不良と一貫して関連し、P-SILI リスクを示唆する^{25, 26)}。

測定: 換気量表示 (リーク補正) を確認。リークは精度に影響する²⁷⁾。

解釈: 高 Vt が認められる場合、呼吸の過大な努力があると認識する。

● 呼吸回数 (RR) 色ベタ+ス 40%

意義: 高い RR は、高い呼吸ドライブや呼吸努力のサインである²⁸⁾。また高い分時換気量は、AHRF における NPPV 失敗と関連している²⁵⁾。

測定: 安静時に連続評価、トレンドで把握する。

解釈: NIRS 開始後の高い RR または早期の RR 低下がないことは、NIRS 失敗を予測する^{29 ~ 31)}。特に HFNC で RR の低下が認められない場合は、呼吸状態の改善がないことを示唆する³²⁾。

● ガス交換指標 ス 70%

● 酸素化 (PaO₂/FiO₂, SpO₂/FiO₂) 色ベタ+ス 40%

意義: NIRS の成功/失敗の重要な決定因子である³⁾。動脈血酸素分圧 (PaO₂) / FiO₂ (P/F) 比 100 ~ 150mmHg 未満で治療失敗となる可能性が高く、急性呼吸不全 acute respiratory failure (ARF) 患者のアウトカム改善においては、P/F 比 100 ~ 150mmHg 付近に臨床的な限界の域値があると考えられる³³⁾。一方、経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO₂) / FiO₂ (S/F) 比は ARF の酸素化の指標として簡便かつ有用であることが報告されている。HFNC において、最初の 24 時間以内のさまざまな時点での低い S/F 比 (目安 120mmHg 未満) は失敗と関連するとされる^{29, 34)}。P/F 比と比較し、パルスオキシメトリーと FiO₂ のみでモニタリングでき、簡便・非侵襲的で連続的な評価が可能である点が優れている。そして S/F 比と P/F 比は強い正の線形相関 ($r = 0.76 \sim 0.95$) があることが報告されている³⁵⁾。

測定: S/F 比は、SpO₂ 97% 以下の場合において評価に値することに注意する。P/F 比は NIRS 開始前および 2 ~ 6 時間後の動脈血液ガス分析にて経時的な評価を行う。

解釈: 一時的な酸素化の改善が認められても、呼吸困難の改善、呼吸パターンの改善などの明らかな臨床的改善がない場合には注意を要する³⁶⁾。

表1 HACOR scoreの解釈

テストコホートとして449例の低酸素血症でNPPVを行い、左記の5つの変数を使用してNPPV失敗予測を行った³⁰⁾。次に358例でこの検証コホートを行った。

HACOR score > 5はNPPV失敗予測に有効

陽性的中率 87%
感度 70%, 特異度 90%

項目	値	点数
HR	≤ 120	0
	≥ 121	1
	7.30 ~ 7.34	2
	7.25 ~ 7.29	3
	< 7.25	4
GCS	15	0
	13 ~ 14	2
	11 ~ 12	5
	≤ 10	10
	≥ 201	0
P/F	176 ~ 200	2
	151 ~ 175	3
	126 ~ 150	4
	101 ~ 125	5
	≤ 100	6
RR	≤ 30	0
	31 ~ 35	1
	36 ~ 40	2
	41 ~ 45	3
	≥ 46	4

などの影響でPaCO₂と乖離しやすいこと³⁸⁾、②変化への追従が遅く急性変動の把握に不向きであること³⁹⁾、③42~45℃での加温維持や数時間ごとの貼付部位交換・再校正が必要となるなど運用負担とコストが高いこと⁴⁰⁾、④長時間貼付による発赤・水疱・低温熱傷など皮膚合併症の懸念があること、が挙げられる。

解釈：単施設研究では、PaCO₂ < 32mmHgはNPPV失敗と強く関連していたと報告されている⁴¹⁾。さらにより顕著な低いPaCO₂ (< 35mmHg)患者は、HFNCよりもヘルメットNPPVから恩恵を受ける可能性があることも報告されている(ヘルメットのより高いPEEP/PSが呼吸ドライブおよび呼吸努力を減少させるため)^{41, 42)}。

②高二酸化炭素性呼吸不全
(閉塞性換気障害の増悪など)

意義：初期はPaCO₂高値+アシドーシスが一般的。短時間でのpH改善とPaCO₂低下傾向はNPPVの良好な治療反応を示す。一方、pHが改善しない/悪化、PaCO₂が低下しない/上昇は失敗シグナルとなる。

測定：動脈血液ガス分析でベースラインと1~2時間後の変化を重視し、その後は6~12時間後にトレンドを確認。

解釈：早期(1~2時間)にpH改善やPaCO₂低下などが得られる場合は成功可能性が高いと評価する⁴³⁾。

呼吸努力の直接的・間接的測定

●食道内圧スイング(ΔPes) ~ 25%
意義：食道内圧 esophageal pressure (Pes) から算出される。呼吸努力を直接モニタリング可能であるが、NIRS中の臨床使用は一般的ではない。呼吸筋の負

荷軽減およびP-SILIリスクに関する生理学的反応を直接測定する。吸気努力の良好な推定値である。横隔膜による経肺圧(気道内圧-食道内圧)はP-SILIのリスクを推定する⁴⁴⁾。

測定：専用カテーテルでの挿入・位置決めが必要である。また、呼吸困難のある非挿管患者への挿入・位置決めは複雑で、技術的難易度は高い³⁾。

解釈：中等症~重症のAHRFにおいて、フェイスマスクNPPV開始後2時間でのΔPesが10cmH₂O以上減少した場合はNPPV成功を予測する⁴⁵⁾。ヘルメットNPPV中のΔPesが10cmH₂O未満かつ動的肺ストレスが20cmH₂O未満であることは、挿管の減少と関連すると報告される¹¹⁾。

●中心静脈圧スイング(ΔCVP) ~ 25%
意義：中心静脈圧 central venous pressure (CVP) から算出される。ΔCVPは、中心静脈圧の波形の振幅から「どれだけ強く吸っているか」を見積もる指標となり得る。

測定：NIRS患者では一般的に中心静脈カテーテルが留置されていないため、使用が限定される。

解釈：ΔCVPとΔPesは良好な相関を示すことが報告されている⁴⁶⁾。ヘルメットNPPV中の低酸素血症患者において、ΔCVPが低努力(ΔPes ≤ 10cmH₂O)と高努力(ΔPes > 15cmH₂O)を良好に識別することが報告されている⁴⁷⁾。

スコアリングと指数

●HACOR score ~ 25%
意義：Heart rate, Acidosis, Consciousness, Oxygenation, Respiratory rateの頭文字をとったもの。低酸素性フェイスマスクNPPV患者で開発・検証され

表2 HACOR scoreの治療失敗の予測能

NIV time points	AUROC (95% 信頼区間)	カットオフ値
NPPV開始1時間(807例)	0.89 (0.87 ~ 0.91)	> 5
NPPV開始12時間(667例)	0.87 (0.85 ~ 0.90)	> 5
NPPV開始24時間(555例)	0.88 (0.85 ~ 0.90)	> 5
NPPV開始48時間(438例)	0.87 (0.83 ~ 0.90)	> 5

AUROC: area under the ROC curve
文献30より抜粋

測定：開始1時間時点での評価が推奨される。

解釈：NPPV開始1時間後のスコアが5より高い場合、失敗の陽性的中率は87%である(感度70%, 特異度90%)^(表1)。重要なのは、1時間時点での予測能が12時間後と同等であることである。NPPVの失敗予測は、まず1時間時点での評価を検討すべきである^(表2)³⁰⁾。

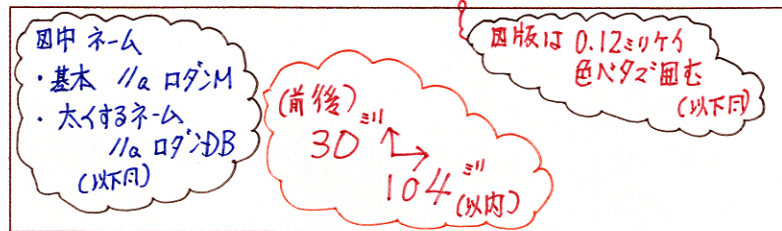
●ROX score (SpO₂/F_iO₂)/RR ~ 25%
意義：新型コロナウイルス感染症(COVID-19)を契機に簡便で広く使用されている²⁹⁾。HFNC下AHRFでの連続評価に適する。

測定：2, 6, 12~24時間など、時点ごとに算出する。

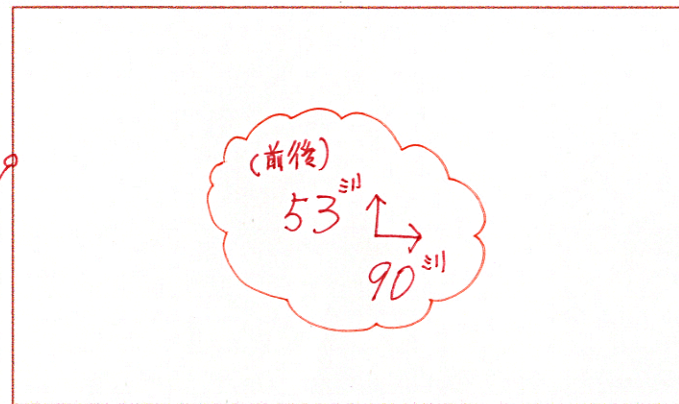
解釈：最初の12~24時間にROX score ≥ 4.88なら成功の可能性が高いと判断する。失敗についての閾値は時間帯で異なっており、2時間後で2.85, 6時間後で3.47, 12時間後で3.85未満であれば失敗の可能性が高いと判断する。ROX値の経時的な増加はNIRS成功と関連し、安定または改善がない場合は挿管を要する患者で認められる^(図1, 2)²⁹⁾。

●HACOR score vs. ROX score ~ 25%
HACOR scoreのROX scoreに対する優位性を示すエビデンスは現時点では存在せず^{48~50)}、

5H> ■ 図1 Rox score の計算方法 (文献 29 より作成)



5H> ■ 図2 Rox score の閾値 (文献 29 より作成)



いずれを優先して用いるべきかは結論できない。

モニタリングに基づくNIRS失敗の定義と介入のタイミング

NIRS失敗の定義と遅延挿管のリスク

NIRSによる加療後に挿管を必要としなかったARF患者は、最終的にIMVを受けた患者よりも転帰が良好であることが知られており、適切な患者に対してはNIRSをまず試みるべきである³⁾。しかしながら、NIRSの継続にもかかわらず臨床的改善がみられない状況で挿管を遅らせることは、死亡率の上昇と関連し、リスクが伴う。現在のところ、NIRSの加療を継続/中止するかどうかを判断するための明確なモニタリング指標の閾値についてのコンセンサスは存在しないが³⁾、NIRS開始後1～2時間以内の早期の改善あるいは、逆に明らかな悪化は、有用な情報となる可能

性がある。実際、ここまで解説した多くのモニタリング変数の上昇または下降のトレンドは、NIRS開始数時間以内に失敗または成功を予測できることが報告されている³⁶⁾。

定期的モニタリングの重要性

観察研究は、HFNC/NPPVに失敗した急性呼吸不全患者において、NIRSを24～48時間を超えて継続後に挿管された群で転帰不良が多いことを一貫して示している^{30, 36, 51, 52)}。したがって、不必要に長時間のNIRS管理を延長すべきではない。ただし、NIRSの長時間継続＝挿管の「遅れ」を必ずしも意味しない点には留意が必要である。ここで区別したのは、「遅延挿管」と「遅期挿管」である。遅延挿管は、NIRSの失敗基準を満たしているにもかかわらず挿管実施が遅れている状態であり、回避すべきである。遅期挿管は、NIRS開始から一定時間を経て挿管された事実を指し、経過観察と系統的な再評価のうえで「計画的に実施される挿管」を含み得るが、これは直ちに不適切や「遅れ」を意味するものではない。実臨床では、NIRS開始直後に一定の改善が得られても24時間以内にさらなる改善が乏しい症例では判断が難しい。このような場合には、4～6時間ごとの系統的な再評価（呼吸仕事、ガス交換、意識レベル、循環動態、合併症など）を行い³⁾、失敗基準に達した時点ですみやかに挿管へ移行するという運用が妥当である。

挿管判断基準

気管挿管の判断は医療者の経験や施設の慣習に左右され、大きく異なる可能性がある。実際、観察研究では、NIRSによる加療中に病態生理学的指標に基づいた挿管が行われていない例も多いことが報告されている^{53, 54)}。明確な挿管判断基準は確立されていないが、表3に挿管を考慮する状況を示す。このような状況では迅速な介入が推奨される³⁾。

モニタリングの将来展望と機械学習の役割

個別化されたモニタリングの進展

呼吸ドライブや吸気努力を評価する airway occlusion pressure at 0.1 s (P0.1) や occlusion pressure swing (Δ Pocc) は、今後の臨床使用が期待される指標である⁴⁴⁾。もともと、これらの新規手法には技術的・臨床的な検証がなお必要で、研究が進行中である^{55, 56)}。主たる技術的課題の一つはリーク（空気漏れ）の制御である⁵⁵⁾。加えて、P0.1/ Δ Poccの計測は「実質的にリークがない」と「短時間の気道オクルージョンを実行できる装置」が前提となる。したがって、シングルチューブ+呼吸ポート型のNPPV専用機では機構上これらの計測機能を備えない、あるいはリーク補償などの影響で精度が担保できず測定できない（または推奨されない）場合があることに注意しておくべきである。さらに、ヘルメットのような大容量・高コンプライアンスのインターフェースでは圧立ち上がりの遅延と信号減衰によりP0.1/ Δ Poccの評価が困難で、過小評価のリスクがある。一方でリークがない条件下では、フェイスマスクNPPV中のP0.1 > 3cmH₂Oが抜管直後の呼吸困難を早期検出し得ることが示唆されている⁵⁷⁾。なお、ヘルメットNPPVおよびHFNC中の一回換気量を簡便にベッドサイドで定量化する手法の必要性は高く、Electrical Impedance Tomographyは有望なツールだが、キャリブレーションと臨床的妥当性の検証が今後の課題である⁵⁸⁾。

機械学習モデルの役割

近年の研究では、HFNC失敗予測において、機械学習モデルが従来の臨床指標（ROX scoreなど）よりも優れた性能を示すことが報告されている⁵⁹⁾。血液ガス測定（特に

NPPV, HFNC中のモニタリング

表3 NIRSにおける挿管を考慮する状況

項目	閾値・具体例（目安）
持続的な高い呼吸数	> 25～30回/min and/or NIRS開始後に減少しない
P/F比の持続的低下	< 100～150が遷延
異常なPaCO ₂	PaCO ₂ > 50mmHg または PaCO ₂ < 30mmHg が持続し、呼吸性アシドーシスを伴う場合
呼吸努力モニタの改善なし	HACOR score > 5 (NPPV開始1時間) で失敗リスク↑ ROX score < 2.85 (2時間), < 3.47 (6時間), < 3.85 (12時間) → 失敗予測
多量の分泌物	自力での喀出が困難な多量の気道分泌物があり、NIRSでは管理が困難な場合
意識レベル低下、気道保護不十分	GCS < 10 または嘔吐反射等の保護反射不十分
著しいリーク、インターフェース不適合	患者が不快感を感じ、非同調をきたすようなマスクからの著しいリークや、インターフェースの適合不良により適切な換気が得られない場合

PaO₂/FiO₂) は、機械学習モデルの予測精度を向上させる可能性が示されており、現在の指標では見逃されがちな早期の変化を検出できる可能性がある⁵⁹⁾。高い予測精度を示す機械学習モデルは、高リスク患者を特定し、タイムリーな介入を可能にするための意思決定支援ツールとなるが、臨床医の判断を代替するものではないことに注意を要する。

おわりに

NIRS中の生理学的モニタリングは、ARF患者の予後改善に不可欠な要素である。多岐にわたるモニタリングツールを統合的に活用することで「診る力」を向上させ、個別化された呼吸管理を実践していく必要がある。

文献 12a 見出し MB 317 20H

1. Bellani G, Laffey JG, Pham T, et al. Epidemiology, patterns of care, and mortality for patients with acute respiratory distress syndrome in intensive care units in 50 countries. JAMA 2016; 315: 788-800. PMID: 26903337
2. Kangelaris KN, Ware LB, Wang CY, et al. Timing of intubation and clinical outcomes in adults with acute respiratory distress syndrome. Crit Care Med 2016; 44: 120-9. PMID: 26474112
3. Perez J, Brandan L, Telias I. Monitoring patients with acute respiratory failure during non-invasive respiratory support to minimize harm and identify treatment failure. Crit Care 2025; 29: 147.

- PMID : 40205493
4. Brochard L, Slutsky A, Pesenti A. Mechanical ventilation to minimize progression of lung injury in acute respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2017 ; 195 : 438-42. PMID : 27626833
 5. Cruces P, Erranz B, Pérez A, et al. Noninvasive continuous positive airway pressure is a lung- and diaphragm-protective approach in self-inflicted lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 2024 ; 209 : 1022-5. PMID : 38320093
 6. Goligher EC, Brochard LJ, Reid WD, et al. Diaphragmatic myotrauma : a mediator of prolonged ventilation and poor patient outcomes in acute respiratory failure. *Lancet Respir Med* 2019 ; 7 : 90-8. PMID : 30455078
 7. Devlin JW, Skrobik Y, Gélinas C, et al. Executive summary : clinical practice guidelines for the prevention and management of pain, agitation/sedation, delirium, immobility, and sleep disruption in adult patients in the ICU. *Crit Care Med* 2018 ; 46 : 1532-48. PMID : 30113371
 8. MacIntyre NR. Physiologic effects of noninvasive ventilation. *Respir Care* 2019 ; 64 : 617-28. PMID : 31110031
 9. Munshi L, Mancebo J, Brochard LJ. Noninvasive respiratory support for adults with acute respiratory failure. *N Engl J Med* 2022 ; 387 : 1688-98. PMID : 36322846
 10. Menga LS, Delle Cese L, Rosà T, et al. Respective effects of helmet pressure support, continuous positive airway pressure, and nasal high-flow in hypoxemic respiratory failure : a randomized crossover clinical trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2023 ; 207 : 1310-23. PMID : 36378814
 11. Grieco DL, Menga LS, Raggi V, et al. Physiological comparison of high-flow nasal cannula and helmet noninvasive ventilation in acute hypoxemic respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2020 ; 201 : 303-12. PMID : 31687831
 12. Hernández G, Paredes I, Moran F, et al. Effect of postextubation noninvasive ventilation with active humidification vs high-flow nasal cannula on reintubation in patients at very high risk for extubation failure : a randomized trial. *Intensive Care Med* 2022 ; 48 : 1751-9. PMID : 36400984
 13. Rochwerg B, Einav S, Chaudhuri D, et al. The role for high flow nasal cannula as a respiratory support strategy in adults : a clinical practice guideline. *Intensive Care Med* 2020 ; 46 : 2226-37. PMID : 33201321
 14. Roca O, Li J, Mauri T. High-flow nasal cannula : evolving practices and novel clinical and physiological insights. *Intensive Care Med* 2024 ; 50 : 758-61. PMID : 38573402
 15. Parke RL, Bloch A, McGuinness SP. Effect of very-high-flow nasal therapy on airway pressure and end-expiratory lung impedance in healthy volunteers. *Respir Care* 2015 ; 60 : 1397-403. PMID : 26329355
 16. Mauri T, Turrini C, Eronia N, et al. Physiologic effects of high-flow nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2017 ; 195 : 1207-15. PMID : 27997805
 17. Wang J, Duan J, Zhou L. Incidence of noninvasive ventilation failure and mortality in patients with acute respiratory distress syndrome : a systematic review and proportion meta-analysis. *BMC Pulm Med* 2024 ; 24 : 48. PMID : 38254064
 18. Duan J, Chen L, Liu X, et al. An updated HACOR score for predicting the failure of noninvasive ventilation : a multicenter prospective observational study. *Crit Care* 2022 ; 26 : 196. PMID : 35786223
 19. Dangers L, Montlahuc C, Kouatchet A, et al. Dyspnoea in patients receiving noninvasive ventilation for acute respiratory failure : prevalence, risk factors and prognostic impact : a prospective observational study. *Eur Respir J* 2018 ; 52 : 1702637. PMID : 29976650
 20. Demoule A, Baptiste A, Thille AW, et al. Dyspnea is severe and associated with a higher intubation rate in de novo acute hypoxemic respiratory failure. *Crit Care* 2024 ; 28 : 174. PMID : 38783367
 21. Thille AW, Contou D, Fragnoli C, et al. Non-invasive ventilation for acute hypoxemic respiratory failure : intubation rate and risk factors. *Crit Care* 2013 ; 17 : R269. PMID : 24215648
 22. Demoule A, Chevrete S, Carlucci A, et al. Changing use of noninvasive ventilation in critically ill patients : trends over 15 years in francophone countries. *Intensive Care Med* 2016 ; 42 : 82-92. PMID : 26464393
 23. Decavèle M, Similowski T, Demoule A. Detection and management of dyspnea in mechanically ventilated patients. *Curr Opin Crit Care* 2019 ; 25 : 86-94. PMID : 30531366
 24. Rochwerg B, Brochard L, Elliott MW, et al. Official ERS/ATS clinical practice guidelines : noninvasive ventilation for acute respiratory failure. *Eur Respir J* 2017 ; 50 : 1602426. PMID : 28860265
 25. Carreaux G, Millán-Guillarte T, De Prost N, et al. Failure of noninvasive ventilation for de novo acute hypoxemic respiratory failure : role of tidal volume. *Crit Care Med* 2016 ; 44 : 282-90. PMID : 26584191
 26. Frat JP, Ragot S, Coudroy R, et al. Predictors of intubation in patients with acute hypoxemic respiratory failure treated with a noninvasive oxygenation strategy. *Crit Care Med* 2018 ; 46 : 208-15. PMID : 29099420
 27. Luján M, Lalmolda C, Ergon B. Basic concepts for tidal volume and leakage estimation in non-invasive ventilation. *Turk Thorac J* 2019 ; 20 : 140-6. PMID : 30958988
 28. Vaporidi K, Akoumianaki E, Telias I, et al. Respiratory drive in critically ill patients. Pathophysiology and clinical implications. *Am J Respir Crit Care Med* 2020 ; 201 : 20-32. PMID : 31437406
 29. Roca O, Caralt B, Messika J, et al. An index combining respiratory rate and oxygenation to predict outcome of nasal high-flow therapy. *Am J Respir Crit Care Med* 2019 ; 199 : 1368-76. PMID : 30576221
 30. Duan J, Han X, Bai L, et al. Assessment of heart rate, acidosis, consciousness, oxygenation, and respiratory rate to predict noninvasive ventilation failure in hypoxemic patients. *Intensive Care Med* 2017 ; 43 : 192-9. PMID : 27812731
 31. Yoshida Y, Takeda S, Akada S, et al. Factors predicting successful noninvasive ventilation in acute lung injury. *J Anesth* 2008 ; 22 : 201-6. PMID : 18685924
 32. Li J, Albuainain FA, Tan W, et al. The effects of flow settings during high-flow nasal cannula support for adult subjects : a systematic review. *Crit Care* 2023 ; 27 : 78. PMID : 36855198
 33. Perez J, Brandon I, Telias I. Monitoring patients with acute respiratory failure during non-invasive respiratory support to minimize harm and identify treatment failure. *Crit Care* 2025 ; 29 : 147. PMID : 40205493
 34. Chen D, Heunks L, Pan C, et al. A novel index to predict the failure of high-flow nasal cannula in patients with acute hypoxemic respiratory failure : a pilot study. *Am J Respir Crit Care Med* 2022 ; 206 : 910-3. PMID : 35671485
 35. Carvalho EB, Leite TRS, Sacramento RFM, et al. Rationale and limitations of the SpO₂/FiO₂ as a possible substitute for PaO₂/FiO₂ in different pre-clinical and clinical scenarios. *Rev Bras Ter Intensiva* 2022 ; 34 : 185-96. PMID : 35674526
 36. Carrillo A, Gonzalez-Diaz G, Ferrer M, et al. Non-invasive ventilation in community-acquired pneumonia and severe acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 2012 ; 38 : 458-66. PMID : 22318634
 37. Perkhofor L, Strobel A, Gagiannis D, et al. Transcutaneous carbon dioxide monitoring as a valid complementary method in acute respiratory failure. *Eur Respir J* 2020 ; 56 : 2002137. PMID : 32616592
 38. Mari A, Nogue H, Mateo J, et al. Transcutaneous PCO₂ monitoring in critically ill patients : update and perspectives. *J Thorac Dis* 2019 ; 11 (Suppl 11) : S1558-67. PMID : 31388461
 39. Schweizer T, Hartwich V, Riva T, et al. Limitations of transcutaneous carbon dioxide monitoring in apneic oxygenation. *PLoS One* 2023 ; 18 : e0286038. PMID : 37262066
 40. Huttman SE, Windisch W, Storre JH. Techniques for the measurement and monitoring of carbon dioxide in the blood. *Ann Am Thorac Soc* 2014 ; 11 : 645-52. PMID : 24701974
 41. Xu X, Ma M, Min Y, et al. PaCO₂ is nonlinearly associated with NIV failure in patients with hypoxemic respiratory failure. *BMC Pulm Med* 2024 ; 24 : 228. PMID : 38730395
 42. Grieco DL, Menga LS, Cesarano M, et al. Phenotypes of patients with COVID-19 who have a positive clinical response to helmet noninvasive ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2022 ; 205 : 360-4. PMID : 34788583
 43. Duan J, Wang S, Liu P, et al. Early prediction of noninvasive ventilation failure in COPD patients: derivation, internal validation, and external validation of a simple risk score. *Ann Intensive Care* 2019 ; 9 : 108. PMID : 31565779
 44. Telias I, Spadaro S. Techniques to monitor respiratory drive and inspiratory effort. *Curr Opin Crit Care* 2020 ; 26 : 3-10. PMID : 31764192
 45. Tonelli R, Fantini R, Tabbi L, et al. Early inspiratory effort assessment by esophageal manometry predicts noninvasive ventilation outcome in de novo respiratory failure. A pilot study. *Am J Respir Crit Care Med* 2020 ; 202 : 558-67. PMID : 32325004
 46. Colombo J, Spinelli E, Grasselli G, et al. Detection of strong inspiratory efforts from the analysis of central venous pressure swings : a preliminary clinical study. *Minerva Anesthesiol* 2020 ; 86 : 1296-304. PMID : 32755084
 47. Lassola S, Miori S, Sanna A, et al. Assessment of inspiratory effort in spontaneously breathing COVID-19 ARDS patients undergoing helmet CPAP : a comparison between esophageal, transdiaphragmatic and central venous pressure swing. *Diagnostics (Basel)* 2023 ; 13 : 1965. PMID : 37296817
 48. Okano H, Yamamoto R, Iwasaki Y, et al. External validation of the HACOR score and ROX index for predicting treatment failure in patients with coronavirus disease 2019 pneumonia managed on high-flow nasal cannula therapy : a multicenter retrospective observational study in Japan. *J Intensive Care* 2024 ; 12 : 7. PMID : 38360681
 49. Valencia CF, Lucero OD, Castro OC, et al. Comparison of ROX and HACOR scales to predict high-flow nasal cannula failure in patients with SARS-CoV-2 pneumonia. *Sci Rep* 2021 ; 11 : 22559. PMID : 34799658
 50. Anand A, Kodamanchili ST, Joshi A, et al. Longitudinal assessment of ROX and HACOR scores to predict non-invasive ventilation failure in patients with SARS-CoV-2 pneumonia. *J Crit Care Med (Targu Mures)* 2024 ; 10 : 147-57. PMID : 39109271
 51. Kang BJ, Koh Y, Lim CM, et al. Failure of high-flow nasal cannula therapy may delay intubation and increase mortality. *Intensive Care Med* 2015 ; 41 : 623-32. PMID : 25691263
 52. Dumas G, Lemiale V, Rath N, et al. Survival in immunocompromised patients ultimately requiring invasive mechanical ventilation : a pooled individual patient data analysis. *Am J Respir Crit Care Med* 2021 ; 204 : 187-96. PMID : 33751920
 53. Yarnell CJ, Johnson A, Dam T, et al. Do thresholds for invasive ventilation in hypoxemic respiratory failure exist? A cohort study. *Am J Respir Crit Care Med* 2023 ; 207 : 271-82. PMID : 36150166
 54. Ajmani GS, Patel BK. To intubate or not intubate, that is the question. *Am J Respir Crit Care Med* 2023 ; 207 : 233-5. PMID : 36170646
 55. Gogniat E, Steinberg E, Tiribelli N, et al. Validation of airway occlusion pressure as a method of assessing breathing effort during noninvasive ventilation. *Respir Care* 2025 ; 70 : 368-76. PMID : 39969921
 56. Dargent A, Hombreux A, Rocca H, et al. Feasibility of non-invasive respiratory drive and breathing pattern evaluation using CPAP in COVID-19 patients. *J Crit Care* 2022 ; 69 : 154020. PMID : 35306443
 57. Hilbert G, Gruson D, Portel L, et al. Airway occlusion pressure at 0.1 s (P0.1) after extubation : an early indicator of postextubation hypercapnic respiratory insufficiency. *Intensive Care Med* 1998 ; 24 : 1277-82. PMID : 9885880
 58. Sosio S, Bellani G, Villa S, et al. A calibration technique for the estimation of lung volumes in nonintubated subjects by electrical impedance tomography. *Respiration* 2019 ; 98 : 189-97. PMID : 31195395
 59. Yu H, Saffaran S, Tonelli R, et al. Machine learning models compared with current clinical indices to predict the outcome of high flow nasal cannula therapy in acute hypoxemic respiratory failure. *Crit Care* 2025 ; 29 : 101. PMID : 40055757
- 利益相反 (COI) :) / 3a 47年 / 明朝 (W3)