

成人急性呼吸不全に対する非侵襲的呼吸補助(総説) NEJM, Nov.3, 2022
「僻地で世界最先端」西伊豆健育会病院早朝カンファ 仲田和正 2023.4
付けたり: 聯合艦隊解散の辞、ヤバイ、谷川俊太郎、危機管理のノウハウ、紅の豚、捻り込み。

Non Invasive Respiratory Support for Adults with Acute Respiratory Failure
(Review Article)

著者

Laveena Munshi, M.D., Laurent J. Brochard, M.D.
Interdepartmental Division of Critical Care, University of Toronto
Jordi Mancebo, M.D.,
The Intensive Care Department,
Hospital Universitari de La Santa Creu I Sant Pu, Barcelona

NEJM, Nov.3, 2022 に「成人急性呼吸不全に対する非侵襲的呼吸補助」の総説がありました。
トップジャーナルで以前、同様の総説には下記があります。

- ・「急性呼吸不全での非侵襲的換気(NPPV)」the Lancet, July 18, 2009
西伊豆早朝カンファ [conference-22_02.pdf \(nishiiizu.gr.jp\)](#)
- ・「ICU での高流量経鼻酸素療法とその他の吸入療法」the Lancet, April 30, 2016
西伊豆早朝カンファ [conference-28_11.pdf \(nishiiizu.gr.jp\)](#)

今回、この十数年でどんな進歩があったのか非常に興味深く読みました。
この十数年間で NPPV に続いて HFNC (高流量経鼻酸素、High flow nasal canula) も出現、
当院でも導入し呼吸不全に対する選択肢が大幅に増えました。
この総説では HFNC、そして NPPV としては face mask と helmet の 3 つのモダリティ(様式)
を取り上げています。
NPPV や HFNC の適応、新たなモニター方法が生まれ洗練されてきました。

NEJM, Nov.3, 2022 総説「成人急性呼吸不全に対する非侵襲的呼吸補助」最重要点は下記 12 点です。

- ① NPPV は心原性肺水腫, COPD, 肥満者低換気に超有用！肺炎で NPPV は独立死亡因子。
- ② 肺炎で NPPV 開始 1h で $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$ で挿管リスク高く, < 150 で死亡リスク高い。
- ③ 肺炎で NPPV 開始 1h の $\text{TV} > 9\text{--}9.5\text{ml/kg}$ で挿管・死亡リスク高い。呼吸数減は有望。
- ④ NPPV 開始 1h で $\text{HACOR} > 5$ 点は挿管にすべき(87%)。 [HACOR Score - MDCalc](#)
- ⑤ NPPV で SAPS II で死亡率予測:
[Simplified Acute Physiology Score \(SAPS II\) Calculator - ClinCalc.com](#)
- ⑥ マスクの快適さは重要, 各種揃え皮膚潰瘍注意。ヘルメット型は $\text{PaCO}_2 < 35\text{mmHg}$ 時挿管少ない。
- ⑦ NPPV 設定: IPAP8, EPAP4-5 cm水柱で開始, IPAP 上げ $\text{TV} > 6\text{ml/kg}$ に。EPAP↑で酸素化↑。
- ⑧ CPAP は自発時に吸・呼気両方で陽圧で気道開き、PEEP は呼気終末陽圧で肺泡開く。
- ⑨ HFNC 有用なのは低酸素($\text{SO}_2 < 90\%$)かつ低 CO_2 時。挿管前、抜管後も有用。

⑩ HFNC:50L/分, FiO_2 1.0 で開始, $\text{SO}_2 > 90$ なら FiO_2 下げ SO_2 90-96%に。 FiO_2 0.4 で中止。

⑪ HFNC で ROX index ≥ 4.88 で安全、COVID-19 肺炎では ≥ 5.99 。

[ROX Index for Intubation after HFNC - MDCalc](#)

⑫ COPD 抜管後 NPPV 有用。BMI ≥ 25 で抜管後死亡率は HFNC より NPPV が少ない。

1. NPPV は心原性肺水腫,COPD,肥満者低換気に極めて有用！肺炎で独立死亡因子。

当初、「NPPV の最大の適応は心原性肺水腫、COPD、免疫不全の 3 つ」で、一般の肺炎は入っていませんでした。NPPV を初めて使った時、心原性肺水腫がわずか数分でみるみる魔法のように改善するのを目の当たりにし小生大変感動しました。

免疫不全でなぜ NPPV が以前は有用とされたかという免疫不全で挿管して呼吸器を使うと VAP(呼吸器関連肺炎、ventilator associated pneumonia)のようなろくでもない(静岡弁で「やきたいもない」)合併症を起こしやすいからです。

しかし今回の総説では免疫不全は NPPV 適応から外されました。医療の発達により挿管しても VAP を起こしにくくなったからです。

昔、長女が小学 1 年生の時、宿題で「“や”のつく言葉をあげなさい」というのに「やきたいもない、やったー、やばい、やりゃあいいじゃん」と書いてありました。中学の家庭科の試験では「食生活で心がけていることを書け」という問いに「くちやくちや食べない。食事の時は歌を歌わない」と書いており「解答のピントが随分ずれているなあ」と心配しておりました。

心原性肺水腫や COPD に対する NPPV は極めて有用で第 1 選択です。一方 COPD 悪化時の HFNC はエビデンス不十分です。また肺炎や ARDS 等による低酸素性呼吸不全や敗血症、ショックの場合の非侵襲的呼吸補助はリスクが高く、利益はいまだにはっきりしません。また喘息悪化時のルーチンの NIV 使用もエビデンスがありません。

COPD 悪化での NPPV 使用の失敗は 15-20%に過ぎませんが、急性低酸素血症(肺炎、ARDS など)では失敗は 40-60%にのびります。急性低酸素血症での NPPV 使用は独立した死亡因子なのです。脳疾患、循環器疾患での NPPV 使用は注意が必要です。

しかし 2019 年からの COVID-19 流行でエアロゾルが発生する挿管を避けるためやむなく NPPV や HFNC が使われ経験が蓄積されました。そして軽症肺炎であれば、ある程度有効であることがわかりました。また肥満者の低換気 (obesity hypoventilation) による高 CO_2 、呼吸性アシドーシスにも PEEP、NIV は有用です。

まとめますと心原性肺水腫、COPD、肥満者低換気に対する NPPV は極めて有用で大いに推奨されます。肺炎・ARDS での NPPV 使用は独立した死亡因子ですが軽症例であれば使用可能です。免疫不全は積極的 NPPV 使用から外れました。

2. 肺炎で NPPV 開始 1h で $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$ で挿管リスク高く、 < 150 で死亡リスク高い。

挿管と言えば昔、小生オーベンに「先生！僕もマッキントッシュ(パソコン)買いましたよ！」と言ったところ、怪訝な顔で「自分で喉頭鏡買って何するんですか？」と聞かれました。

うーん、確かにマイ喉頭鏡じゃ使い道ないよなあ。

勘違いといえば以前、外来で畳屋さんが「ニンプを二人雇っている」というので、小生「どうしてまた妊婦を二人も？」と尋ねたところ妊婦でなく人夫でした。

NPPV のモニターに使用されるのは $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 、一回換気量(TV)、呼吸数、Simplified acute physiology score II、HACOR score の 5 つです。

肺炎での非侵襲的換気(NIV:noninvasive ventilation)はその効果が不明でしたが挿管を減らすため NIV が使われました。実際、COVID-19 では急性低酸素性呼吸不全患者の 41% で NIV(HFNC、CPAP、NPPV)が使用されました。

そして軽症から中等の低酸素血症の肺炎(mild-to-moderate acute hypoxemic respiratory failure)であれば NPPV は有効とされました。

肺炎で NPPV が妥当か否かのモニターとして $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (oxygenation index) が使われます。

正常人では PaO_2 100、 FiO_2 0.21 ですから $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ は約 500 となります。

わかったのは NPPV 開始 1 時間で $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ が 200 未満の場合、挿管リスクが高く、150 未満の場合、死亡リスクが高いということです。

全ての NIV は通常の酸素療法よりも挿管リスクを減らせます。

しかし $\text{PaO}_2:\text{FiO}_2 < 200$ になったら要注意であり、 < 150 になったら死亡リスクが高いのです。

最近、ER で挿管は若い先生がほとんどやるので、小生、マックグラスは一度も使ったことがありません。最近救急隊もほとんどマックグラスで挿管しています。こうやって時代に取り残されていくのだなあと思います。そう言えばルートの確保もこの 30 年やったことがありません。名人ナースが百発百中でやってくれます。

「百発百中」で思い出すのは日本海海戦でロシアに圧勝した後、連合艦隊が解散した時の東郷平八郎司令長官の「聯合艦隊解散の辞」です。名参謀、秋山真之の草案と言われます。ルーズベルト大統領はこの辞に感動し この翻訳を全将兵に配りました。

・・武力なる物は艦船兵器等(ハード)のみにあらずして、之を活用する無形の實力(ソフト)にあり。
百発百中の一砲、能く百發一中の敵砲百門に對抗し得るを覺らば、我等軍人は主として 武力を形而上(ソフト)に求めざるべからず。

明治 38 年(1905 年)12 月 21 日 聯合艦隊解散之辞 東郷平八郎

軍人だけでなく医師も全くこの通りだと思います。どんなに病院のハードが優れていてもそのソフトが劣っていてはどうにもなりません。「我ら医師は主として実力を形而上に求めざるべからず(二重否定)」です。

まとめますと肺炎で NPPV 開始 1h で $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$ で挿管リスクが高くなり、 < 150 で死亡リスクが高くなります。

3. 肺炎で NPPV 開始 1h の $\text{TV} > 9\text{--}9.5\text{ml/kg}$ で挿管・死亡リスク高い。呼吸数減は有望。

NPPV 開始して呼吸が激しくなったらヤバイそうです。逆に呼吸が静かになったら NPPV 成功の可能性が高いのです。ところで「ヤバイ」の語源って何だろうと Chat GPT 様に尋ねたところ「諸説あるけど江戸時代の矢場(射的場)では隠れて売春が行われていたため、そこで役人に目をつけられたら危ないという意味で“やばい”と言われる」そうです。
そう言えば外来で「今日は知り合いの出所祝い」と言うヤバそうな人がいました。

NPPV モニターの指標には、前記の $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (oxygenation index) 以外に 1 回換気量 (tidal volume)、呼吸数、Simplified acute physiology score II、HACOR score があります。

1 回換気量 (TV, tidal volume) が NPPV 開始 1 時間で 9 から 9.5ml/kg 以上の時、挿管、死亡リスクが高いと言うのです。急に呼吸が激しくなったら要注意なのです。

これは下記の論文によります。

●Carteaux G et.al, Failure of noninvasive ventilation for de novo acute hypoxemic respiratory failure: role of tidal volume, Crit Care Med, 2016;44:282-90

一方、呼吸回数 (respiratory rate:RR) 低下は NPPV 成功の可能性が高いのです。
ただし RR は吸気努力と常には関連しません。

まとめますと肺炎で NPPV 開始 1 時間の TV (一回換気量) $> 9\text{--}9.5\text{ml/kg}$ で挿管・死亡リスクが高くなります。
一方、呼吸数減少は NPPV 成功の可能性が高いのです。

4. NPPV 開始 1h で HACOR > 5 点は挿管にすべき (87%)。

[HACOR Score – MDCalc](#)

呼吸と言えば谷川俊太郎の詩で「息」という詩があります。
最近、中島みゆきの大学の卒業論文が谷川俊太郎についてだったことを知りました。
中島みゆきの歌は「地上の星」といい、「わかれうた」といい言葉の選び方が凄いなあと
思っていたのですが、谷川俊太郎の影響なのかもしれません。

「息」 谷川俊太郎
風が息をしている 木々が揺れる
虫が息をしている 草が動く
星が息をしている 夜が明るくなる
人が息をしている 世界が生きている

肺炎のような低酸素血症患者で NPPV 失敗の予測ツールとして HACOR score があります。

[HACOR Score – MDCalc](#)

HACOR scoreとは Heart rate(心拍),Acidosis(Ph), Consciousness(意識),Oxygenation(酸素化),Respiratory rate(呼吸数)の 5 変数から算出します。

NPPV 開始 1 時間後、HACOR>5 点で挿管の可能性が高いのです。

これは 2017 年の下記論文によります。

●Duan J 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

<要点>

上記論文では、まずテストコホートとして 449 人の低酸素血症で NPPV を行いました。

上記の 5 つの変数を使用して NPPV 失敗予測を行いました。次に 358 人でこの検証コホート (validation cohort)を行いました。失敗率はテストコホートで 47.8%、検証コホートで 39.4%でした。

結果として HACOR>5 は NPPV 失敗予測に有効でした。NPPV 開始 1 時間で HACOR>5 の場合、87.1%は挿管を要し、HACOR≤5 では 81.6%が挿管を要しなかったのです。

5 点をカットオフ値とした時、NPPV 失敗の感度 72.6、特異度 90.2、陽性的中率(陽性と判定した時、真の陽性である確率)87.2、陰性的中率(陰性の時、真に陰性である確率)78.1、診断精度 81.8%でした。

まとめますと NPPV 開始 1h で HACOR>5 点は挿管となる可能性(87%)が高くモニターに有用です。

5. NPPV で SAPS II で死亡率予測:

[Simplified Acute Physiology Score \(SAPS II\) Calculator – ClinCalc.com](#)

Simplified acute physiology score II (SAPS II)とは集中治療室 (ICU)に入院した患者の死亡率を予測するのに用いられます。SAPS II は、年齢、心拍数、血圧、体温、グラスゴー昏睡スケール (GCS)、動脈血酸素分圧と吸気酸素濃度の比 (PaO₂/FiO₂)、尿素窒素 (BUN)、尿量、ナトリウム、カリウム、重炭酸イオン、ビリルビン、白血球数、慢性疾患の有無、入院の種類などの項目をもとに点数を算出します。点数が高いほど重症度が高く、死亡率が高くなります。

[Simplified Acute Physiology Score \(SAPS II\) Calculator – ClinCalc.com](#)

まとめますと NPPV で SAPS II により死亡率が予測できます。

6. マスクの快適さは重要、各種揃え皮膚潰瘍注意。ヘルメット型は $\text{PaCO}_2 < 35\text{mmHg}$ 時挿管少ない。

NPPV でマスク(インターフェイスと言うのだそうです)の快適さは極めて重要(critical)であり靴のように各種、各サイズを取りそろえよとのことです。足が 25 cm の人に無理やり 24 cm の靴をあてがってはなりません。

以前は小生、マスクの名称がわからずナースにはジェスチャーと「アレ」とか「ナニ」で伝えておりました。元内閣危機管理室室長の佐々淳行氏の「危機管理のノウハウ、PHP 文庫 1984」に「アレをナニしておいてくれ」などという指示は絶対に出してはいけないと書いてありました。

NPPV 開始は適切なインターフェイス(マスク)選択で始まります。

一番よく使うのは鼻と口を覆う oronasal face mask(別名 full face mask)です。

マスク周辺からの過度のガス漏れは効率が減り望みの圧を得られません。しかし強固に顔に装着すると皮膚潰瘍を生じます。潰瘍を起こしそうなときは皮膚にハイドロコロイド製剤を貼ります。呼気時マスクと皮膚の間からのリークは必要ですから(マスクに呼気ポートもある)、ふんわり置きます。また嘔吐を起こす時は危険です(そりゃそうだ)。

Total face mask(眼、鼻、口を覆う)は鼻に圧がかからず皮膚外傷を減らします。

その内部容積が多いにも関わらず機能的死腔は増えないそうです。

この total face mask を自分に着けておもむろに横のナースの方を振り返ると気分はもう、すっかりダースベーダーでスターウォーズの主題歌が突然湧き起こる感じがします。

一方、鼻だけの Nasal mask は急性期ではめったに使用されないそうです。

この nasal mask を自分で着けると何だか「紅の豚」になった感じがします。

Nasal mask は口を閉じれば PEEP が掛かりますが開口するとエアリークします。

最初は oronasal face mask か total face mask で開始し慣れたら nasal mask に換えると良いようです。

映画「紅の豚」と言えばポルコ・ロッソの空中戦で戦技「左捻り込み」が出てきます。

ゼロ戦パイロットの撃墜王坂井三郎氏は敵 64 機を撃墜しました。氏の得意技が左捻り込みだということです。以前、坂井三郎氏に氏の「大空のサムライ」が外科系医師の技術習得の必読書だとファンレターを送ったら年賀状を頂き大事にとってあります。

以前、外来患者さんに天草海軍航空隊のゼロ戦指導教官、終戦時には特攻ロケット機「桜花(靖国神社の遊就館に展示があります)」搭乗員だった方がいました。

この方に捻り込みが一体どういう技なのかお聞きしました。この方によるとこれは日本海軍独特の戦法で、空中戦でお互い垂直回旋の巴戦で追尾された時、回旋の頂点に達した時、スロットルを絞り右か左に操縦桿を少し倒します。右と左捻り込みがあるのです。そのまま回旋を 2 回連続させると敵の後尾に付けることができ撃墜できるということです。

これを操縦席から見ると一体どうなるのか、まったく想像がつかなかったのですが、映画「永遠のゼロ」で再現されていました。垂直回旋でゼロ戦を追尾していると突然、

前方のゼロ戦(岡田准一)が斜め上にゆっくりと 浮き上がりそのままの形でゆっくり
上空を後退していき、自機の後方にピタリと付かれてしまうのです。
すなわち回旋を最小半径で行って敵機の後ろに 付けるのです。これはジェット戦闘機では
できないようです。

この方が亡くなった時は奥様から色々 遺品を頂きました。

頂いた「操縦員の栞(しおり)」で小生特に感動したのは次の文です。

「技量の練磨:航空機の戦闘力発揮は一に懸かって人にあるは言を俟たず。如何に優秀なる
性能を有する航空機と雖もその搭乗員にして技量拙劣ならんか、其の能力発揮は望み得べからず。
是に反して技量優れたるものは性能劣れる航空機を持つてするも能く戦闘の目的を
達成し得たるものなり。故に搭乗員たるものは 自己の技量の練磨を一日も疎かにすべからず。」

医師も全く同じだと思います。いかに病院のハードが優れていても医師の技量が劣っていても
何なりません。「自己の技量の練磨を一日も疎かにすべからず」なのです。
というわけで、是非皆様、西伊豆健育会病院へ！

ヘルメット型マスクは円柱状の宇宙飛行士が被るようなインターフェイスです。

当院では使ったことがありません。首のところに輪がありそこに紐を付けて腋窩に回します。
患者によっては閉所恐怖症、騒音を訴えますが不快感は少なく皮膚への圧力もなく長期間使用
できます。最近のデザインは PEEP を 10－12 cm水柱まで上げられます。一回換気量の大きな患者
ではヘルメット(hood)の collapse(壊れる)を防ぎ、二酸化炭素の再呼吸を防ぐため高めの
PEEP が必要です。しかし呼気 1 回換気量を正確に測定するのは容易ではありません。

この総説でへーと思ったのは ARDS での NPPV では顔面マスクよりヘルメット型マスクの方が
気管挿管率は有意に低かったと言うのです。下記論文です。

●Effect of noninvasive respiratory strategies on intubation or mortality among
patients with acute hypoxemic respiratory failure and COVID-19 JAMA2022;327:546-58

<要点>

この論文では ARDS 83 人と人数は少ないですが、ヘルメット型 NPPV41 人、顔面マスク型 42 人
無作為割付で気管挿管率はヘルメット型で 18%(7 人)、顔面マスク型 62%(25 人)で、
ヘルメット型マスク群で有意に低かった(P<0.001)のです。ヘルメット群の方が不快感が
少なく、より高い PEEP(8 cm水柱)を顔面マスク型マスク(PEEP5 cm水柱)よりかけることが
できたそうです。

またヘルメット型マスクと HFNC(高流量経鼻酸素)との比較も COVID-19 で行われ HFNC より
ヘルメット型マスクの方が挿管率は低かったそうです。

また helmet 型 NPPV は HFNC に比べて PaCO₂<35mmHg の時、挿管回避に最大の利益があります。
この効果は PaCO₂≥35mmHg の時には見られませんでした。
著者は PaCO₂ が低いことは患者の高い吸気努力を意味し自身による肺障害(self-inflicted lung injury)
のリスクとなると考えています。

ヘルメット型マスクのモニター指標としては確立されたものではありませんが以下のようなものがあります。

【Helmet NIV のモニター】

- PaCO₂(評価中) : 吸気努力の代理(surrogate)として使えるかも。 <35mmHg の時 HFNC よりも helmet NIV の方が挿管回避に有用。
- 吸気開始時食道内圧(評価中): PaO₂/FiO₂ < 200 の患者で吸気努力の代理(surrogate)として使えるかも。ベースラインで食道内圧 > 10 cm水柱で Helmet-NIV 開始後、 < 10 cm水柱にならぬ場合、挿管となる可能性が高い。

これからはナースに「インターフェイスは total-face mask にしてね」と格好よく決めようと思いました。昔、研修医の頃、ナース休憩室から盗んだ月餅を 2 個白衣のポケットに入れ、ナース同伴で回診し病室で聴診器を引っ張り出したら月餅が飛び出し 2 方向に転がり、慌てて追いかけて、小生の人望と名声を大きく損なったことがありました。

まとめますと NPPV の快適さは極めて重要であり靴のように各種、サイズをそろえます。特に皮膚潰瘍には注意します。Total face mask なら鼻に潰瘍はできません。ヘルメット型は特に PaCO₂ < 35mmHg の時、挿管率が少なく優れます。

7. NPPV 設定: IPAP8, EPAP4-5 cm水柱で開始, IPAP 上げ TV>6ml/kg に。EPAP↑で酸素化↑。

この総説に NPPV の具体的設定法は書いてありません。

下記 the Lancet, July 18, 2009 に設定法がありましたのでこれを中心にまとめておきます。

[conference-22_02.pdf \(nishizu.gr.jp\)](https://www.nishizu.gr.jp/conference-22_02.pdf)

●Non-invasive ventilation in acute respiratory failure (Review)

急性呼吸不全での NIV(NPPV) The Lancet, July 18, 2009 西伊豆早朝カンファ H22.9

上記総説によると COPD で具体的にどのような時に NPPV を開始するのかというと PaCO₂ が 45mmHg 以上の時、Ph7.30-7.34 の間の時、PaO₂/FiO₂ < 200 の時です。
血ガスで Ph < 7.30 の時は NPPV の利点はないので挿管せよとのことです。
ですから COPD で覚えるべき数字は PaCO₂ 45mmHg と Ph7.30 です。

NPPV 開始は IPAP(inspiratory positive pressure)8cm 水柱、EPAP(expiratory positive airway pressure) 4-5cm 水柱で始めよ、とのことです。

呼気 1 回換気量(TV)を測定し 6ml/kg 以上になるように IPAP を上げていきます。

IPAP と EPAP の差が大きいほど TV が増えます。CO₂ナルコーシスでは換気を大きくする

ためこの差を増やします。IPAP から EPAP を引いたものが普通の呼吸器の PS (pressure support) に相当します。だから IPAP は PEEP + PS と同じことです。

IPAP はたいてい 20 cm 水柱以内で高くても 30 cm 水柱以下です。
エアリークは 20-60L/分程度とします。加湿器は 30 度位です。

EPAP はふつうの呼吸器の PEEP (positive endexpiratory pressure) に相当します。
肺を膨張させて心臓の前負荷を軽減します。

なお PEEP とはレスピレーター下での呼気時陽圧を言います。CPAP (continuous positive airway pressure) は睡眠時無呼吸のような自発呼吸のある患者で吸気、呼気両方に陽圧をかけることを
言い自発呼吸のサポートはありません。CPAP は FiO₂ と EPAP を指定するだけです。

酸素化不良の時は飽和度 90% 以上 (CO₂ ナルコーシスでは 90 程度を目標) を目指して EPAP
(普通の呼吸器の PEEP に相当) を上げていきます。ARDS で PEEP を増やすのと全く同じです。
NPPV 開始後、12 時間は 30 分毎、快適さ、呼吸数、飽和度をチェック、以後 1 時間毎にチェックします。

CPAP は自発呼吸のサポートはありませんが、S モード (spontaneous mode) は自発呼吸を
サポートするだけのモードで、設定するのは FiO₂, EPAP と IPAP です。

T モード (Timed mode) は強制換気だけ行うモードで、自発呼吸と関係なく設定した呼吸回数
を補助し自発呼吸が弱い ALS などで使用されます。T モードでは FiO₂, EPAP, IPAP, 呼吸回数、
吸気時間を設定します。

一番よく使う S/T モードは S モードと T モードを組み合わせた自発呼吸と強制換気の混合で CO₂
ナルコーシス (目標 SO₂ は 90 程度に) などに使います。FiO₂, EPAP, IPAP, 呼吸回数、吸気時間の
設定が必要です。

PCV (pressure control ventilation) モードは圧規定換気で気道内圧を一定に保ちながら換気を行い
一回換気量は患者の肺コンプライアンスや気道抵抗により変化します。

ASV (adaptive support ventilation) は分時換気量をサポートするモードです。身長を入力し
自動的に一回換気量、分時換気量、呼吸回数をサポートします。

設定する項目は FiO₂, PEEP, %分時換気量のみです。%分時換気量とは、身長から想定された
理想体重に合わせた分時換気量です。

肺活量は性と身長に関係し体重はあまり関係がありません。60 kg の人が 100 kg に肥満しても
肺活量はそのままなのです。だから肥満すると息が苦しくなるのでしょう。

だから ARDS の低換気療法 (6ml/kg) は予測体重 (predicted body weight) として下記計算式を使います。

- ・男性予測体重 $50.0 + 0.91 \times (\text{身長} - 152.4 \text{ cm})$
- ・女性予測体重 $45.5 + 0.91 \times (\text{身長} - 152.4 \text{ cm})$

ASV では予測体重は基本的に 100%に設定されていますが必ずしも患者さんが理想体重ではなく肥満だったりやせていたりします。この時に手動で%を変更します。この場合も自動的に一回換気量と呼吸回数は増減されます。

自発がある時は圧を補い、自発がない場合は PCV として働きます。チェーンストークなどに使えます。

まとめますと NPPV 設定は IPAP8, EPAP4-5 cm水柱で開始します。IPAP を上げ TV>6ml/kg にし、酸素化不良なら EPAP(PEEP と同じこと)を上げて酸素化を改善します。

8. CPAP は自発時に吸・呼気両方で陽圧で気道開き、PEEP は呼気終末陽圧で肺胞開く。

CPAP により患者は吸気、呼気の両方で一定(constant)の陽圧呼吸ができます。

Closed でも open(continuous-flow open circuits)でも使用できます。

PEEP は換気に直接の影響はなく呼気終末に肺胞に陽圧をかけて dynamic hyperinflation を起こし無気肺を改善します。 CPAP は COPD や、胸部や腹腔手術後の無気肺予防に、また睡眠時無呼吸では上気道の mechanical stent となり、肥満者では気道閉塞を妨げるギリギリ(critical)の圧力を提供します。

肺炎や ARDS で、低酸素血症により肺胞での酸素化が妨げられて肺内シャントが起こっている時、PEEP により肺胞が開き(recruitment)酸素化が改善します。

PEEP は吸気努力を減らし無気肺を予防し横隔膜仕事量を減らし、より均等な肺換気につながります。

左室不全では PEEP により胸腔内圧が高まり前負荷が減少、また呼吸仕事量が減ります。

また呼吸筋による胸腔内陰圧が減ることにより左室後負荷も減ります。

PEEP や CPAP は心原性肺水腫での呼吸不全改善に極めて有効です。

ただし過剰な PEEP は胸腔圧増加、酸素消費、肺胞の過膨張、自身による肺障害、横隔膜収縮を妨げます。

まとめますと CPAP は自発時に吸・呼気で陽圧、気道が開き、PEEP は呼気終末陽圧で肺胞が開きます。

9. HFNC 有用なのは低酸素($SO_2 < 90\%$)かつ低 CO_2 時。挿管前、抜管後も有用。

高流量経鼻カヌラ(High-flow nasal cannula)が特に有用なのは低酸素($SO_2 < 90\%$ か $PaO_2 < 60\text{mmHg}$)かつ低 CO_2 血症の時です。また挿管時、前もって酸素化(preoxygenation)もできます。HFNC を鼻に付けたまま挿管もできるのです。抜管後管理にも有用です。
無論、 CO_2 ナルコーシスには使えません。

高流量経鼻カヌラ(High-flow nasal cannula)は 30L/分以上、最大 60-80L/分で酸素濃度(FiO_2)0.21 から 1.0 で鼻カヌラで投与します。高流量酸素のため周辺からのエアの引き込みが起こらず正確な FiO_2 で投与できるのです。

34-37 度で加熱、加湿すれば快適です。口を閉じれば高流量によりある程度の PEEP (1-3 cm 水柱) をかけることができ、呼気時の死腔を流し出すことで呼吸努力、吸気筋努力を減らせます。PEEP の高さは、HFNC < Face mask NPPV < Helmet NPPV の順です。

また高流量ガスで死腔が wash out されて一般の鼻カヌラやベンチュリーマスクでは得られぬ FiO₂ 100% にすることができます。高流量ガスにより呼気抵抗が増大して呼気時間を延長し呼吸数を減らし、また加湿により気道粘膜のクリアランスが補助されます。
口を塞がないので会話、食事が可能です。挿管前の酸素化に使うこともできます。
また伏臥位にすることができます。

下記 NEJM2015 の論文で「高 CO₂ のない急性低酸素性呼吸不全(市中肺炎、院内肺炎、敗血症、誤嚥性肺炎、免疫不全)」で HFNC も NPPV も挿管率を下げませんでした、HFNC は死亡率を低下させました。これを見るとやはり一般の肺炎は NPPV は第 1 選択ではないのだなあと思います。HFNC は特に高 CO₂ のない一般の肺炎で低酸素血症の時、有用なようです。

●NEJM,2015;372;2185-96 High-flow oxygen through nasal canula in acute hypoxemic respiratory failure。

<要点>

高 CO₂ のない急性低酸素性呼吸不全(AHRF、acute hypoxemic respiratory failure) 310 人を 3 群に無作為割付、HFNC106 人、標準酸素療法 94 人、NPPV110 人。
気管挿管率は HFNC 群 38% (40 人)、標準酸素療法 47% (44 人)、NPPV 群 50% (55 人) で挿管率に有意差なし。HFNC は標準酸素療法や NPPV と比し ICU および 90 日での死亡率が低下した。ICU 死亡は HFNC 群 11% (12 人)、標準酸素群 19% (18 人)、NPPV 群 27%。
90 日後死亡は HFNC 群 12% (13 人)、標準酸素群 23% (22 人)、NPPV 群 28% (31 人)。

まとめますと HFNC が有用なのは低酸素(SO₂<90%)かつ低 CO₂ 時です。
つまり一般の肺炎の時です。挿管前、抜管後も有用です。

10. HFNC:50L/分, FiO₂ 1.0 で開始,SO₂>90 なら FiO₂ 下げ SO₂ 90-96%に。FiO₂ 0.4 で中止。

HFNC は当、西伊豆健育会病院では 2 年前に導入しました。当院では大型ボンベ 3 本を 1 組として 2 組を切り替えながら酸素を使っています。HFNC 導入で一番心配していたのは、あつという間にボンベが空になるのではないかとということでした。酸素ボンベは 30 km 離れた下田から調達しています。普段、1 組のボンベは 15 日ほど持つのですが、HFNC を使っている間は 10 日ほどになるとのことでした。小生、勘違いしていたのですが HFNC 50L/分と
いうのは酸素の量でなく気体全体の量です。

この総説には HFNC の具体的設定法は書かれておりません。

The Lancet Apr.30,2016 に高流量経鼻酸素療法の下記総説がありました。

[conference-28_11.pdf \(nishiizu.gr.jp\)](#)

「ICU での高流量経鼻酸素療法とその他の吸入療法」

The Lancet, April 30, 2016 西伊豆早朝カンファ

上記総説によると HFNC の具体的設定方法は、HFNC50L/分、酸素 100%で開始し、
SO₂>90%なら流量はそのまま FiO₂ を下げて SO₂ を 90-96%にします。

FiO₂ 0.4 になったら標準酸素療法に変更します。

なお HFNC50L/分というのは酸素の量でなく気体全体の量です。最低でも 30L/分投与します。
CO₂を吐かせることはできませんから CO₂ナルコーシスでは禁忌です。

11. HFNC で ROX index ≥ 4.88 で安全、COVID-19 肺炎では ≥ 5.99 。

[ROX Index for Intubation after HFNC - MDCalc](#)

HFNC 開始後、有効かどうかの判定に ROX index があります。

[ROX Index for Intubation after HFNC - MDCalc](#)

一般的に、ROX index が低いほど挿管リスクが高く、高いほど低いと考えます。

最初の Roca の論文では ROX ≥ 4.88 でほぼ安全と考えられましたが COVID-19 肺炎では 5.99 とする論文もあります。

ROX index は、酸素飽和度 (SpO₂)と吸入酸素濃度 (FiO₂) の比率を呼吸数で割ったもので、式は以下の通りです。

•ROX index = (SpO₂/FiO₂)/RR

例えば、SpO₂ が 95%、FiO₂ が 0.4、RR が 20 の場合、

ROX index = (95/0.4)/20 = 11.875 で人工呼吸器管理への移行リスクは低いと判断します。

HFNC での ROX index の代表的論文は下記です。

●Roca O et.al. An index combining respiratory rate and oxygenation to predict outcome of nasal high-flow therapy, Am J Respir Crit Care Med 2019;199:1358-76

<要点> HFNC を 191 人で行い 68 人 (35.6%) が挿管となった。

HFNC 開始 2 時間、6 時間、12 時間でそれぞれ ROX2.85 未満、3.47 未満、3.85 未満は HFNC 失敗、挿管の予測因子。ROX4.88 以上は挿管リスク低い。

●Maria Laura Vega et.al. COVID-19 Pneumonia and ROX index: Time to set a new threshold for patients admitted outside the ICU, J.pulmoe. 2021.4.3

<要点> COVID-19 肺炎 120 人に HFNC を行い 35 人 (29%) が挿管となった。

ROX index<5.99 が最適の閾値であり感度 62%、特異度 96%。5.99 以下で挿管となる。

なお Point-of-care lung ultrasound score と言って肺の形態をエコーで 6 か所計測、それぞれ 0-3 点でカウントするモニター法があります。

COVID-19 患者で NIV や HFNC を受けていて高値の場合、挿管の可能性が高かったそうです。

まとめますと HFNC で ROX index ≥ 4.88 で安全、COVID-19 肺炎では ≥ 5.99 で安全です。

12. COPD 抜管後 NPPV 有用。BMI ≥ 25 で抜管後死亡率は HFNC より NPPV が少ない。

侵襲的器械換気の抜管後、1 週以内に 12–20% の患者は再挿管を要します。

weaning(liberation)に対する NPPV は特に COPD で有用で入院日数減少、死亡率低下します。

COPD、心疾患合併、肥満時、抜管後 NPPV や HFNC は再挿管予防に有用です。

ICU での事後解析で BMI ≥ 30 または BMI25–30 の患者では抜管後 7 日までの再挿管、死亡率は HFNC よりも NIV の方が少なかったのです。しかし BMI < 25 の患者では差がなかったとのことです。結局、挿管後は患者をよく観察(close monitoring)し再挿管が遅れないようにせよとのことです。

腹部手術後は無気肺や肺水腫が多く NIV(NPPV、HFNC)は有用です。

腹部手術後、通常のケアと比較して、予防的 CPAP 使用は 30 日以内の肺炎、挿管、死亡を減らしませんでした。しかし 11 件のメタアナリシスで HFNC の予防的使用は特に肥満者で再挿管リスクを減らしました。CPAP や NPPV も腹部手術後の再挿管、合併症予防に効果的です。

それでは NEJM, Nov.3, 2022 総説「成人急性呼吸不全に対する非侵襲的呼吸補助」要点 12 の怒涛の反復です。

① NPPV は心原性肺水腫、COPD、肥満者低換気に超有用！肺炎で NPPV は独立死亡因子。

② 肺炎で NPPV 開始 1h で $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$ で挿管リスク高く、 < 150 で死亡リスク高い。

③ 肺炎で NPPV 開始 1h の $\text{TV} > 9\text{--}9.5\text{ml/kg}$ で挿管・死亡リスク高い。呼吸数減は有望。

④ NPPV 開始 1h で HACOR > 5 点は挿管にすべき(87%)。 [HACOR Score – MDCalc](#)

⑤ NPPV で SAPS II で死亡率予測：

[Simplified Acute Physiology Score \(SAPS II\) Calculator – ClinCalc.com](#)

⑥ マスクの快適さは重要、各種揃え皮膚潰瘍注意。ヘルメット型は $\text{PaCO}_2 < 35\text{mmHg}$ 時挿管少ない。

⑦ NPPV 設定：IPAP8, EPAP4–5 cm水柱で開始、IPAP 上げ $\text{TV} > 6\text{ml/kg}$ に。EPAP $\uparrow$ で酸素化 $\uparrow$ 。

⑧ CPAP は自発時に吸・呼気両方で陽圧で気道開き、PEEP は呼気終末陽圧で肺胞開く。

⑨ HFNC 有用なのは低酸素($\text{SO}_2 < 90\%$)かつ低 CO_2 時。挿管前、抜管後も有用。

⑩ HFNC:50L/分, $\text{FiO}_2 1.0$ で開始, $\text{SO}_2 > 90$ なら FiO_2 下げ $\text{SO}_2 90\text{--}96\%$ に。 $\text{FiO}_2 0.4$ で中止。

⑪ HFNC で ROX index ≥ 4.88 で安全、COVID-19 肺炎では ≥ 5.99 。

[ROX Index for Intubation after HFNC – MDCalc](#)

⑫ COPD 抜管後 NPPV 有用。BMI ≥ 25 で抜管後死亡率は HFNC より NPPV が少ない。