

OXY TRỊ LIỆU TRONG BỆNH VIỆN – CÁC DỤNG CỤ CUNG CẤP VÀ CÁC HỆ THỐNG DẪN OXY

TS BS ĐỖ THỊ TƯỜNG OANH

1. ĐẠI CƯƠNG

Khí oxy được phát hiện lần đầu tiên vào những năm 1700 và sau đó các nhà nghiên cứu nhận ra tầm quan trọng của nó đối với sự sống và vai trò của nó trong quá trình hô hấp. Đầu thế kỷ 19, oxy đã bắt đầu được sử dụng trong y khoa. Các nhà sinh lý học tiếp tục nghiên cứu bản chất hóa học của oxy và sự tương tác sinh lý của nó với quá trình chuyển hóa tế bào và vận chuyển khí. Đến đầu thế kỷ 20, oxy được kê đơn rộng rãi cho những bệnh nhân mắc nhiều loại bệnh về đường hô hấp¹. Oxy có tính hai mặt, vừa là một phân tử thiết yếu hỗ trợ sự sống vừa là chất oxy hóa mạnh các phân tử khác dẫn đến thoái hóa các mô sinh học: Oxy giúp hỗ trợ bệnh nhân bị thiếu oxy và đồng thời có khả năng gây tổn thương phổi. Hiện nay đã có bằng chứng rõ ràng cho thấy độc tính của tình trạng tăng oxy máu; do đó, oxy liệu pháp chỉ nên được chỉ định cho bệnh nhân hạ oxy máu từ trung bình đến nặng^{2,3}. Nội dung bài này chỉ đề cập khía cạnh kỹ thuật khi sử dụng oxy liệu pháp ở những bệnh nhân đã có chỉ định điều trị oxy trong bệnh viện hay cơ sở y tế.

2. NGUỒN OXY

2.1. Bình oxy nén

Bình oxy thường được dùng tại một số cơ sở y tế với nhiều kích cỡ khác nhau để cung cấp oxy cho bệnh nhân, trong đó oxy 100% được nén với áp suất cao trong bình chứa bằng kim loại cường lực (sắt hoặc nhôm). Mỗi loại bình oxy chứa một thể tích oxy nhất định từ khoảng 900 lít đến khoảng 6000 lít. Bình oxy lưu hành tại Việt nam không dùng ký hiệu quốc tế mà thường được gọi tên theo thể tích của vỏ bình rỗng: bình 6 lít, 9 lít, 10 lít, 14 lít và 40 lít. Loại bình oxy thông dụng tại các cơ sở y tế là bình 40 lít, có chiều cao # 120cm và chứa 6000 lít oxy; những bình nhỏ hơn dùng để di chuyển cùng với người bệnh hay đặt trên xe cứu thương. Dù thể tích bình lớn hay nhỏ, áp lực oxy tối đa của bình luôn là 2100 psi hoặc 150 bar (hay kg/cm²). Thể tích oxy chứa trong bình (lít) = Thể tích bình x 150 (bar hay kg/cm²)⁴.

Trong thực hành lâm sàng, trong một số trường hợp cần phải biết rõ thời gian bệnh nhân sử dụng bình oxy còn lại là bao lâu (ứng với lưu lượng oxy hiện tại) để có kế hoạch thay bình hợp lý. Thông thường người ta sẽ ước tính thể tích oxy còn lại trong bình bằng cách xem đồng hồ đo áp lực oxy: Ví dụ, áp lực oxy tối đa trong bình luôn là 150 bar hay kg/cm² (hoặc 2100 psi), nếu là 75 bar thì chỉ còn ½ thể tích bình và 37,5 bar thì chỉ còn ¼ thể tích bình. Thể tích oxy còn lại chia cho lưu lượng oxy (L/ph) đang thở sẽ có được số phút có thể thở oxy (Hình 1).



Hình 1: Đồng hồ đo áp lực oxy và cách ước tính lượng oxy trong bình. Nguồn: <https://www.google.com/medical-gases-storage-and-supply->

- An toàn cháy nổ: Khí oxy không tự cháy hay nổ nhưng vẫn có thể nổ nếu bị nung nóng; và các vật dụng khác cũng dễ bắt lửa và cháy nhanh trong không khí giàu oxy. Lưu ý đặt bảng cấm hút thuốc trong phạm vi 3 mét quanh nguồn oxy. Đặt bình oxy ở nơi an toàn tránh ngã đổ, tốt nhất là đặt trong giá đỡ và hạn chế dùng các thiết bị điện như máy cạo râu, máy sấy tóc, các dụng cụ net lửa để khởi động trong lúc đang thở oxy^{2,3}.

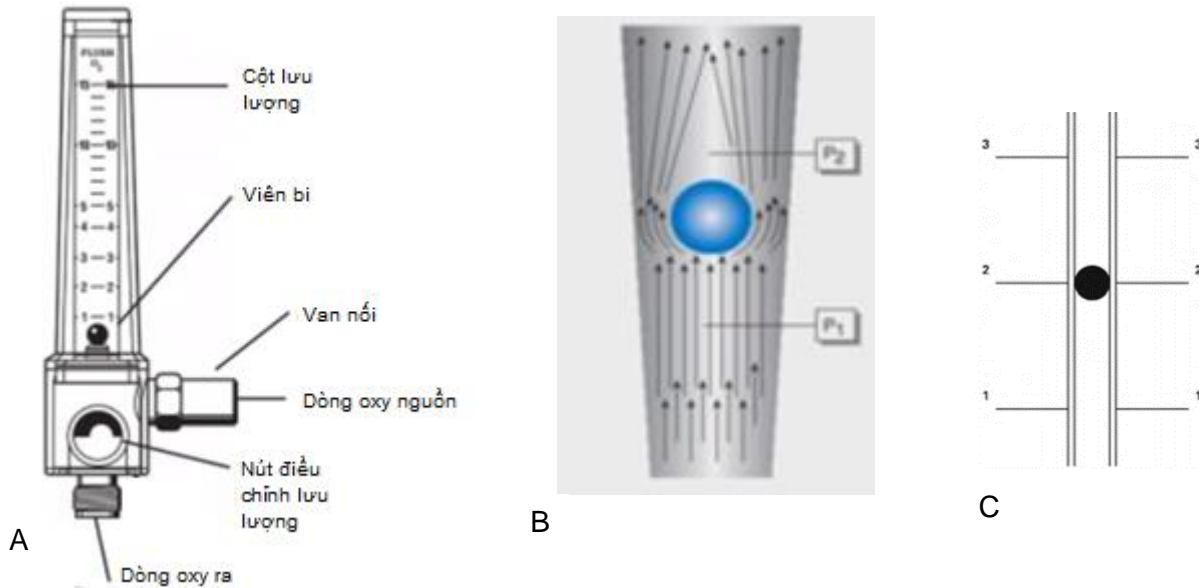
2.2. Khí oxy lỏng

Một số bệnh viện trang bị hệ thống oxy lỏng có đường ống dẫn oxy đến các giường bệnh. Đây là phương tiện tốt nhất để lưu trữ oxy lượng lớn với diện tích nhỏ: một lít oxy lỏng cung cấp khoảng 860 lít oxy dạng khí. Quy trình hóa lỏng oxy: Không khí trong khí quyển được làm lạnh đến -181°C ; ở nhiệt độ này khí oxy và khí argon bị hóa lỏng nhưng nitơ vẫn ở trạng thái khí (vì điểm hóa lỏng của nó là -196°C). Hỗn hợp oxy và argon thu được đưa qua bình chưng cất áp suất thấp thứ hai để tinh chế, oxy lỏng tinh khiết cuối cùng được chứa trong những bể chứa cách nhiệt được thiết kế đặc biệt để vận chuyển và lưu trữ một cách an toàn và tiết kiệm. Các bể chứa có van an toàn để giữ áp lực ổn định và đường ống hợp kim đồng đưa oxy đến giường bệnh⁴. Các đầu ra nguồn oxy trên tường tại các giường bệnh cần được ký hiệu và ghi chú rõ ràng tránh nhầm lẫn với đầu ra của khí khác hoặc máy hút hay đẩy khí.

2.3. Lưu lượng kế

Lưu lượng kế hay dụng cụ đo lưu lượng oxy là thiết bị y tế dùng để đo thể tích dòng khí oxy theo một đơn vị thời gian, tốc độ dòng chảy được điều chỉnh thông qua bộ điều khiển lưu lượng. Lưu lượng kế thường sử dụng trong bệnh viện là loại lưu lượng kế đơn giản nhất dựa trên nguyên tắc phao nổi: Viên bi di chuyển lên xuống trong cột khí có đường kính tăng dần, đường kính càng lớn thì dòng khí qua càng nhiều, lưu lượng càng lớn. Cột lưu lượng oxy thông thường là 0 – 15 lít/phút. Lưu ý, để đảm bảo độ chính xác thì lưu lượng kế (phao nổi) luôn phải được đặt thẳng đứng và tâm của viên bi phải thẳng hàng với vạch đánh dấu tốc độ dòng chảy thích hợp (Hình 2). Ngoài ra, các loại lưu lượng

kể khác như lưu lượng kế chênh lệch áp suất, lưu lượng kế coriolis, lưu lượng nhiệt... ít sử dụng trong hệ thống y tế tại Việt nam.



Hình 2: Lưu lượng kế y tế. A. Mô tả lưu lượng kế. B. Nguyên lý hoạt động lưu lượng kế dùng viên bi làm phao nổi (P1 khác P2). C. Tâm viên bi phải ở ngang mức trên cột lưu lượng (2 lít/ph). Nguồn ²

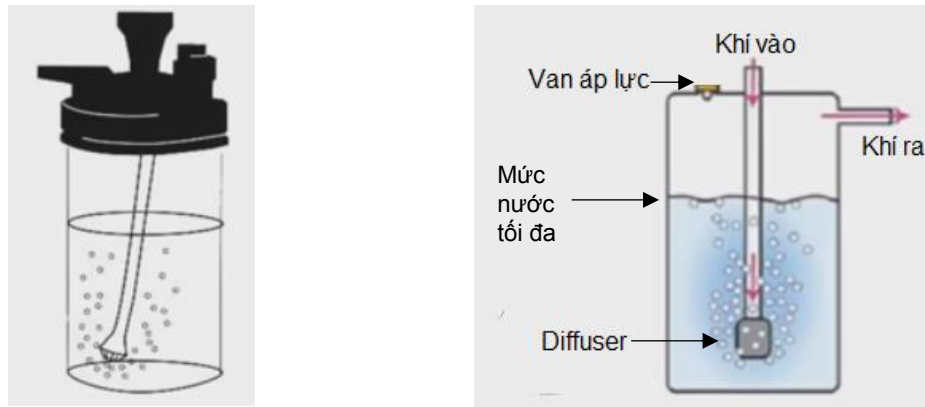
2.4. Bình làm ẩm oxy

Bình thường, đường hô hấp trên có chức năng lọc sạch bụi to và làm ẩm, làm ấm không khí hít vào. Nếu các chức năng này bị suy giảm do bệnh lý hoặc khi đường hô hấp trên bị bỏ qua do thông khí nhân tạo, việc cung cấp độ ẩm cho khí hít vào là rất cần thiết. Vì khí oxy có độ ẩm <50%, người ta cho rằng dùng oxy ẩm trong oxy liệu pháp sẽ giúp làm giảm bớt khô niêm mạc và giảm bớt sự khó chịu ở mũi và miệng ở bệnh nhân. Việc tạo ẩm cho oxy thường được thực hiện bằng cách sục dòng khí oxy qua nước vô trùng trước khi đến bệnh nhân. Tuy nhiên, đã có nghiên cứu cho thấy sử dụng bình làm ẩm làm tăng nguy cơ nhiễm khuẩn hô hấp: cấy vi khuẩn trong nước ở bình làm ẩm sau 5 ngày sử dụng cho thấy kết quả dương tính 83% ở khoa nội, 77% ở khoa phẫu thuật và 50% ở khoa cấp cứu, trong đó tỷ lệ nhiễm *Pseudomonas aeruginosa* chiếm đa số⁵.

Theo khuyến cáo của BTS 2017 (Hội Lồng ngực Anh), vì bình sục khí làm ẩm oxy không có bằng chứng lợi ích về lâm sàng nhưng lại làm tăng nguy cơ nhiễm khuẩn hô hấp⁶ nên không cần làm ẩm oxy nếu sử dụng oxy lưu lượng thấp (cannula mũi, mặt nạ) hoặc thở oxy lưu lượng cao (mặt nạ Venturi) trong thời gian ngắn < 24 giờ². Chỉ cần làm ẩm oxy khi thở oxy lưu lượng cao và kéo dài > 24g hoặc những bệnh nhân than phiền cảm giác khô ở đường hô hấp trên (bằng chứng loại D)². Một số bệnh nhân thở oxy kéo dài than phiền khó khạc đàm có thể cho phun khí dung với nước muối sinh lý làm loãng đàm².

Tại Việt nam hiện nay, bình làm ẩm vẫn được dùng rộng rãi cho tất cả bệnh nhân thở oxy. Khi sử dụng bình làm ẩm, cần lưu ý những điểm quan trọng sau:

- Dùng nước vô trùng và thay nước hàng ngày, bình làm ẩm phải được súc rửa thường xuyên.
- Khi dùng lưu lượng cao, phải lưu ý hiệu quả làm ẩm của bình: đổ nước ở mức tối đa, đầu ống dẫn nước có bộ phận diffuser giúp khí oxy phân tán trong nước tốt hơn.
- Luôn luôn kiểm tra nắp bình không bị hở (tránh thoát khí) và van áp lực còn hoạt động (tránh tắc khí).



Hình 3: Cấu tạo bình làm ẩm oxy. Nguồn: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images>

3. CÁC HỆ THỐNG DẪN OXY (OXYGEN DELIVERY SYSTEM)

3.1. Nhắc lại sinh lý: Lưu lượng hít vào

Để hiểu rõ cách phân loại các hệ thống dẫn oxy, cần nhắc lại khái niệm về lưu lượng hít vào (IFR: Inspiratory flow rate): đây là thể tích khí người bệnh hít vào theo một đơn vị thời gian. Người bình thường ở trạng thái nghỉ ngơi có lưu lượng hít vào khoảng 20 – 30 lít/phút.

Công thức tính lưu lượng hít vào⁷

$$\text{IFR (lít/phút)} = V_t \times \text{RR} \times \frac{\text{TST}}{\text{TI}}$$

TST: Thời gian 1 chu kỳ thở (giây)

TI: Thời gian thì hít vào (giây)

V_t : Thể tích khí lưu thông (lít)

RR: Nhịp thở/phút

- Ví dụ 1: Một bệnh nhân ở trạng thái nghỉ và hô hấp bình thường, khí lưu thông V_t 0.5 lít, nhịp thở 20/ph, TST 3s, TI 1s

$$\text{IFR} = 0.5 \times 20 \times 3/1 = 30\text{l/ph}$$

Lưu lượng hít vào có thể thay đổi trong các bệnh lý và phụ thuộc nhiều vào kiểu thở của người bệnh (thể tích khí lưu thông, tần số thở, tỉ lệ thì hít vào/ thì thở ra).

- Ví dụ 2: Bệnh nhân khó thở nên tăng thông khí do phản xạ: khí lưu thông V_t 0.75 l, nhịp thở 30/ph; TST 2, TI 0.5s

$$\text{IFR} = 0.75 \times 30 \times 2/0.5 = 90\text{l/ph}$$

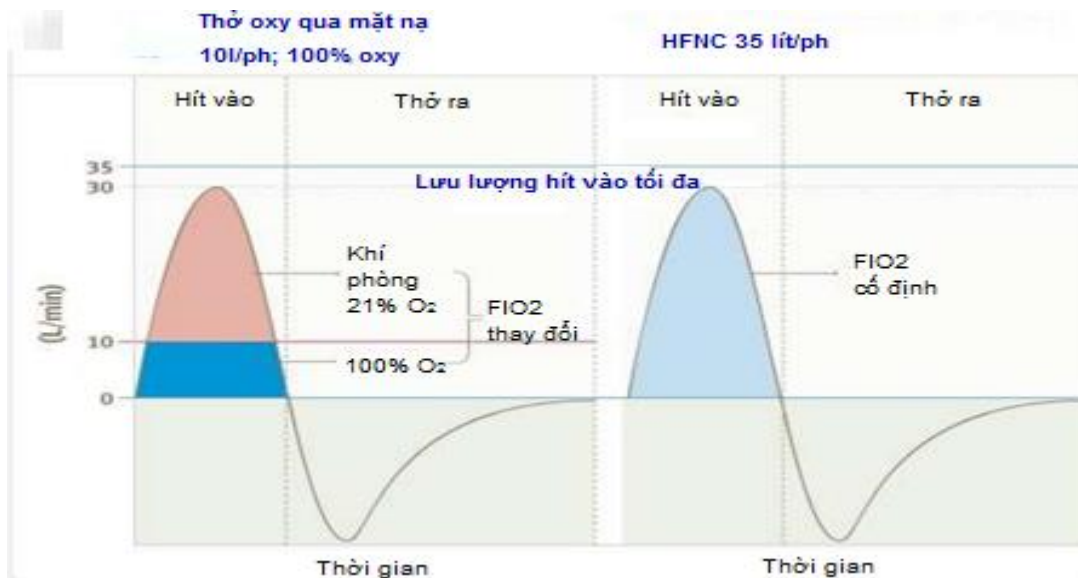
3.2. Các hệ thống dẫn oxy

Khí oxy từ nguồn đã được điều chỉnh lưu lượng cần thiết bởi các lưu lượng kế sẽ được dẫn vào đường hô hấp của người bệnh qua các hệ thống dẫn oxy. Thông qua các hệ thống dẫn oxy này, oxy sẽ được đưa vào người bệnh theo các tỷ lệ % khác nhau (FIO₂: Fraction inspired oxygen= tỷ lệ % khí oxy trong khí hít vào).

Hệ thống dẫn oxy thường được phân chia thành 2 nhóm: Hệ thống dẫn oxy lưu lượng thấp (cannula mũi, mặt nạ đơn giản, mặt nạ có túi dự trữ thở lại và không thở lại) và hệ thống dẫn oxy lưu lượng cao (mặt nạ Venturi, oxy lưu lượng cao qua cannula mũi HFNC)⁸. Các thuật ngữ cao và thấp không phản ánh mức FiO₂ bởi vì cả hai hệ thống cung cấp oxy đều có khả năng cung cấp nhiều mức FiO₂ khác nhau. Lưu ý, đừng nhầm lẫn hệ thống lưu lượng thấp với nồng độ oxy thấp.

3.2.1. Các dụng cụ dẫn oxy lưu lượng thấp

Đặc điểm chung của nhóm dụng cụ này là lưu lượng oxy nguồn thường thấp hơn lưu lượng hít vào tối đa của bệnh nhân, vì vậy khi người bệnh hít vào, khí trời từ bên ngoài cũng sẽ được hít vào theo cho đủ mức lưu lượng hít vào (IFR). Vì vậy, khí oxy sẽ bị pha loãng với khí trời với tỷ lệ thay đổi, và do đó FIO₂ cũng thay đổi đáng kể. Với cùng một loại dụng cụ dẫn khí lưu lượng thấp (cannula mũi, mặt nạ đơn giản, mặt nạ có túi dự trữ thở lại và không thở lại) nhưng với kiểu thông khí khác nhau, ta sẽ có FIO₂ rất khác nhau. Các mức FIO₂ được trình bày theo mỗi loại dụng cụ chỉ là FIO₂ ước tính nếu bệnh nhân có kiểu thở bình thường, nhưng trên thực tế, những bệnh nhân có chỉ định thở oxy thường không có kiểu thở bình thường. Ưu điểm chính của các dụng cụ lưu lượng thấp là dễ sử dụng. Lưu lượng oxy nguồn cung cấp chỉ từ 1-15 lít/phút^{9,10}.



Hình 4: So sánh hệ thống dẫn oxy lưu lượng thấp và cao. Nguồn: Optiflow® - Manual

3.2.2. Các dụng cụ dẫn oxy lưu lượng cao

Ngược lại với các dụng cụ dẫn oxy lưu lượng thấp, đặc điểm chung của nhóm dụng cụ này là lưu lượng oxy cung cấp bằng hoặc cao hơn lưu lượng hít vào của bệnh nhân (tối đa khoảng 50l/ph) nên không bị pha loãng với khí trời, nhờ vậy FIO₂ hầu như không bị thay đổi (Hình 4). Cung cấp oxy lưu lượng cao là phương pháp hỗ trợ hô hấp không xâm lấn cho những bệnh nhân nguy kịch để cung cấp nồng độ oxy rất chính xác. Ưu điểm của hệ thống dẫn oxy lưu lượng cao là có thể sử dụng ở những bệnh nhân có tần số và kiểu thở thay đổi. Hệ thống dẫn oxy lưu lượng cao bao gồm mặt nạ Venturi, oxy lưu lượng cao qua cannula mũi (HFNC: High flow nasal cannulae), lều oxy... Lưu lượng khí cung cấp của hệ thống dẫn oxy lưu lượng cao ít nhất 50 – 60 lít/phút^{9,10}.

4. CÁC DỤNG CỤ DẪN OXY LƯU LƯỢNG THẤP

4.1. Cannula mũi:

Là dây dẫn oxy từ nguồn có 2 nhánh mũi đặt vào mũi bệnh nhân. Cannula mũi cần nguồn cung cấp lưu lượng oxy thấp và trung bình (1 – 6 l/phút). Cannula mũi dùng khoang mũi – hầu # 50ml như khoang dự trữ oxy (reservoir) (Hình 4). Người ta thường ước tính FIO₂ của cannula mũi bằng công thức $FIO_2(\%) = 20 + (4 \times \text{lưu lượng oxy})$, tức là FIO₂ ước tính của cannula mũi khoảng từ 24 – 44%. (Bảng 1)

Bảng 1: FIO₂ ước tính của cannula mũi

LƯU LƯỢNG (L/ph)	FIO ₂ ƯỚC TÍNH (kiểu thở bình thường)	
1	0.24	24%
2	0.28	28%
3	0.32	32%
4	0.36	36%
5	0.40	40%
6	0.44	44%

Tuy nhiên, FIO₂ thật sự bị ảnh hưởng rất nhiều bởi nhịp thở (nhịp thở nhanh thì FIO₂ thấp hơn), thông khí phút, thể tích khoang mũi – hầu và loại bệnh hô hấp của người bệnh. Nếu lưu lượng oxy > 4l/ phút, FIO₂ còn thay đổi nhiều hơn^{8,9,11}.

• Ví dụ 1: Một bệnh nhân ở có kiểu thở bình thường, khí lưu thông V_t 0.5 l, nhịp thở 20l/ph, TST 3s, TI (thời gian hít vào) 1s. Bệnh nhân được cho thở oxy qua cannula mũi 5l/ ph

Lưu lượng oxy nguồn 5l/ph → 83ml/giây

Thể tích khoang mũi 50ml (khoang chứa oxy)

Trong thì hít vào, bệnh nhân hít được 83 + 50 = 133 ml oxy.

Vì thể tích khí lưu thông V_t là 500ml, bệnh nhân phải hít thêm: 500 – 133 = 367ml khí trời

Oxy có trong khí trời : 367 x 20% = 73ml

% oxy trong khí hít vào: 133 + 73 = 206ml oxy trong 500ml

→ **FIO₂ = 206/500 # 40%**

- Ví dụ 2: Cùng bệnh nhân trong ví dụ 1 nhập viện vì khó thở, thở nhanh và tăng thông khí. Thể tích khí lưu thông V_t 0.75 l, NT 30l/ph; TST 2 giây, TI 0,5giây. Bệnh nhân được cho thở oxy qua cannula mũi 5l/ ph

Lưu lượng oxy nguồn 5l/ph → 83ml/giây.

Vì nhịp thở nhanh, thể tích oxy trong thì hít vào (0.5") là: 41.5ml

Thể tích khoang mũi: 50ml

Trong thì hít vào, bệnh nhân hít được 41.5 + 50 = 91.5 ml oxy.

Vì thể tích khí lưu thông V_t là 750ml, bệnh nhân hít thêm: 750 – 91,5= 658.5 ml khí trời

Oxy có trong khí trời :658.5 x 20% = 131.7 ml

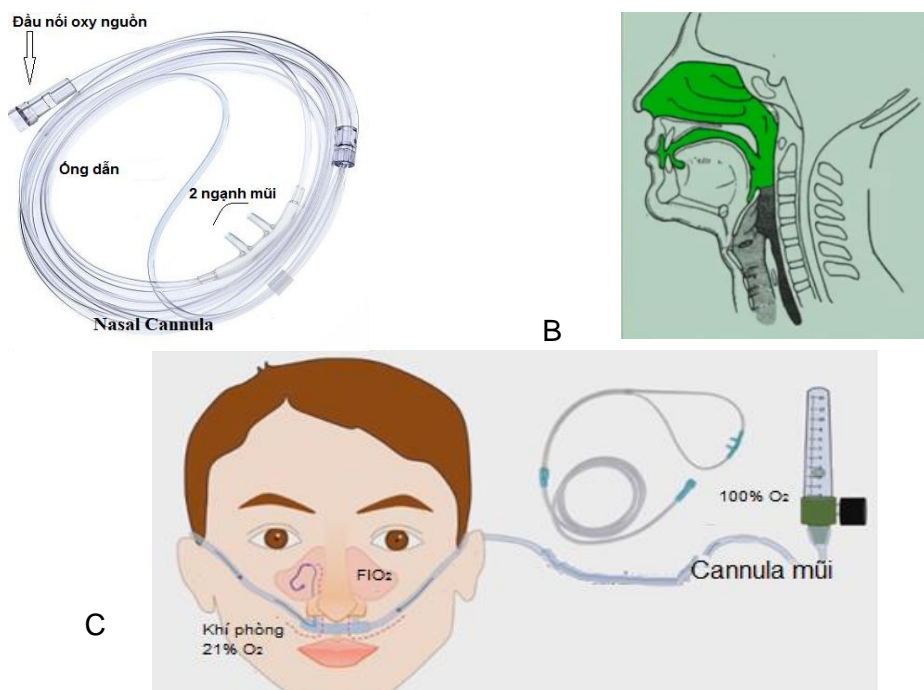
% oxy trong khí hít vào: 91.5 + 131.7 = 223.2 ml oxy trong 750 ml

→ **FIO₂ = 223/750 # 30%**

→ Như vậy, cùng 1 mức lưu lượng oxy nguồn và cùng người bệnh nhưng do kiểu thở khác nhau, FIO₂ có thể thay đổi từ 40% trở thành 30%.

Để tăng thể tích cho khoang dự trữ oxy, người ta thiết kế các loại cannula mũi có thêm # 20ml khoang chứa oxy ở phía trước (Oxymizer®), loại này không thông dụng ở Việt Nam.

Cannula mũi có ưu điểm là rất thuận tiện cho người bệnh có thể vừa thở oxy vừa nói chuyện hoặc ăn uống. Các khuyết điểm bao gồm kích ứng niêm mạc mũi do tiếp xúc, khó chịu và khô mũi khi dùng lưu lượng > 4 L/ph, kém hiệu quả nếu bệnh nhân thở bằng miệng^{2,12,13,14}.

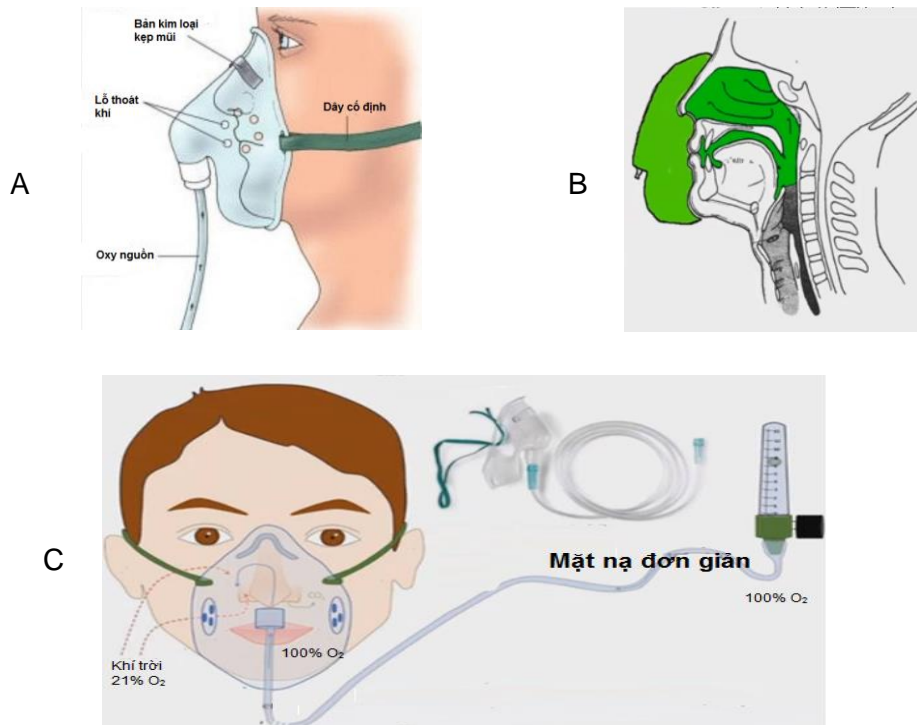


Hình 5: Cannula mũi. A. Cấu tạo cannula mũi B. Khoang mũi – hầu như khoang dự trữ oxy # 50ml. B. Cơ chế vận hành cannula mũi - Nguồn:

<https://www.directhomemedical.com/1820-7foot-softtech-nasal-cannula.html>

4.2. Mặt nạ đơn giản

Mặt nạ bằng nhựa trong với nhiều kích cỡ khác nhau đặt trên mũi và miệng bệnh nhân cho vừa khít và cố định bằng dây đàn hồi. Ngoài thể tích khoang mũi – hầu 50ml, mặt nạ đơn giản có thêm khoang dự trữ oxy # 100ml, tổng cộng là 150ml. Mặt nạ đơn giản cần lưu lượng oxy cung cấp trong khoảng 5 – 10l/ph với FIO₂ ước tính là 35 – 50%. Cũng tương tự như cannula mũi, FIO₂ thật sự cũng bị ảnh hưởng không chỉ bởi nhịp thở, thông khí phút, loại bệnh hô hấp mà còn bởi kích thước mặt nạ và sự thất thoát khí qua khe hở của mặt nạ và mặt bệnh nhân. Ưu điểm của mặt nạ loại này là có thể cung cấp FIO₂ cao hơn so với cannula mũi, nhưng không thích hợp với người bệnh có nguy cơ tăng CO₂. Lưu ý quan trọng: Không được dùng mặt nạ đơn giản với lưu lượng oxy thấp < 5l/phút vì sẽ gây hiện tượng bệnh nhân thở lại CO₂ trong khí thở ra, gây nguy cơ tăng CO₂ của bệnh nhân và tăng kháng lực hít vào^{11,14,15}.



Hình 6: Mặt nạ đơn giản. A. Cấu tạo mặt nạ đơn giản. B. Khoang dự trữ oxy. C. Cơ chế vận hành mặt nạ đơn giản Nguồn: <https://kyoling.com/page/411.html>

Khuyết điểm là khuyết điểm chung của các dụng cụ dẫn oxy qua mặt nạ: Bệnh nhân không thể nói chuyện và ăn uống khi đang thở oxy, khó ho, mặt nạ dễ tuột ra lúc ngủ, có thể gây ảnh hưởng trên vùng da dưới mặt nạ (áp lực, độ ẩm...).

4.3. Mặt nạ có túi dự trữ

Mặt nạ có túi dự trữ tương tự mặt nạ đơn giản nhưng có gắn thêm một túi dự trữ có thể tích # 600 -800ml, nhờ vậy khoang dự trữ oxy xấp xỉ 1000ml. Thường có 2 loại: Mặt nạ có túi dự trữ thở lại một phần (partial rebreathing reservoir mask) và mặt nạ có túi dự trữ không thở lại (non-rebreathing reservoir mask).

4.3.1. Mặt nạ có túi dự trữ thở lại một phần

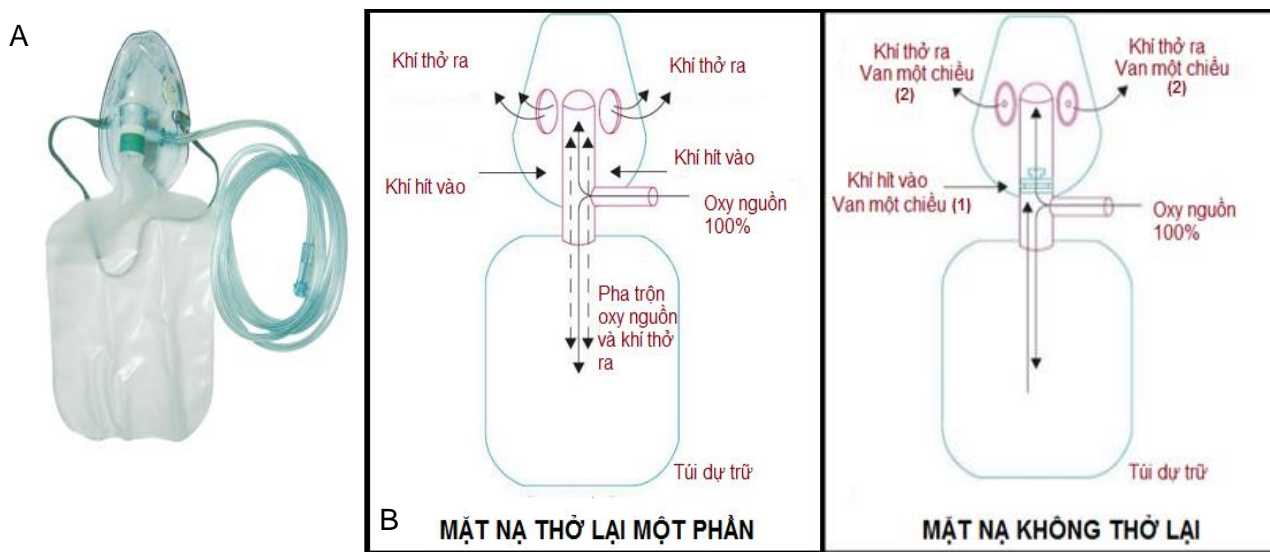
Khi sử dụng mặt nạ thở lại một phần, khi bệnh nhân thở ra sẽ có khoảng 1/3 thể tích khí thở ra đi vào trong túi dự trữ và phần còn lại thoát ra ngoài qua các lỗ thoát khí của mặt nạ. 1/3 đầu tiên của thể tích khí thở ra được lấy từ khoảng chết giải phẫu nên hàm lượng O₂ cao và CO₂ thấp, pha trộn với khí oxy 100% từ nguồn sẽ được người bệnh hít vào ở thì hít vào tiếp theo sau. Mặt nạ thở lại một phần đòi hỏi lưu lượng oxy nguồn 10 – 12l/ph và mức FIO₂ ước tính đạt được cao hơn so với mặt nạ đơn giản, khoảng 50 – 60%. Cũng tương tự như cannula mũi và mặt nạ đơn giản, mức FIO₂ này cũng rất thay đổi tùy theo kiểu thở của người bệnh do pha loãng với khí trời. Lưu ý quan trọng: Lưu lượng oxy nguồn phải được điều chỉnh ≥ 10 l/ph để túi dự trữ không bị xẹp và người bệnh không thở lại nhiều CO₂.

4.3.2. Mặt nạ có túi dự trữ không thở lại

Mặt nạ không thở lại có cấu tạo tương tự mặt nạ thở lại một phần nhưng có thêm 2 hoặc 3 van một chiều: Van (1) nằm giữa túi với mặt nạ chỉ cho phép oxy đi từ túi ra mặt nạ (nên khí thở ra của bệnh nhân không đi vào trong túi dự trữ) và hai van (2) ở hai vị trí lỗ bên của mặt nạ chỉ cho phép khí từ trong mặt nạ ra ngoài. Nhờ các van này, bệnh nhân sẽ không thở lại CO₂ trong khí thở ra. Mặt nạ không thở lại dùng cho lưu lượng oxy khá cao 10 – 15l/ph với FIO₂ ước tính lên đến khoảng 60 – 90% với điều kiện mặt nạ phải khít vào mặt¹⁶. Nếu mặt nạ không khít, không khí bên ngoài sẽ pha loãng oxy và làm FIO₂ thay đổi.

Cách sử dụng: Kiểm tra các van của mặt nạ. Nối mặt nạ vào nguồn oxy lưu lượng 10 – 15l/ph, làm phồng túi dự trữ bằng cách chặn ngón tay vào van (1) trước khi cho bệnh nhân sử dụng. Khi bệnh nhân hít vào, túi dự trữ sẽ hơi xẹp một chút, nếu túi không phồng cho thấy mặt nạ bị hở. Lưu ý quan trọng: Tuyệt đối không được để cạn nguồn khí oxy vì có thể khiến cho bệnh nhân bị ngộp thở. Để phòng tránh việc này, một số mặt nạ thiết kế chỉ có một van (2) ở một bên mặt nạ, giúp cho khí trời vẫn có thể vào mặt nạ nếu nguồn oxy bị giảm hoặc cạn kiệt đột ngột.

Ưu điểm của mặt nạ không thở lại là có thể đạt được FIO₂ khá cao và khuyết điểm là khuyết điểm chung của các loại mặt nạ thở oxy; mặt nạ có thể khít vào mặt gây cảm giác khó chịu. Khi cần phải sử dụng mặt nạ không thở lại kéo dài, nên xem xét chỉ định thông khí không xâm lấn.



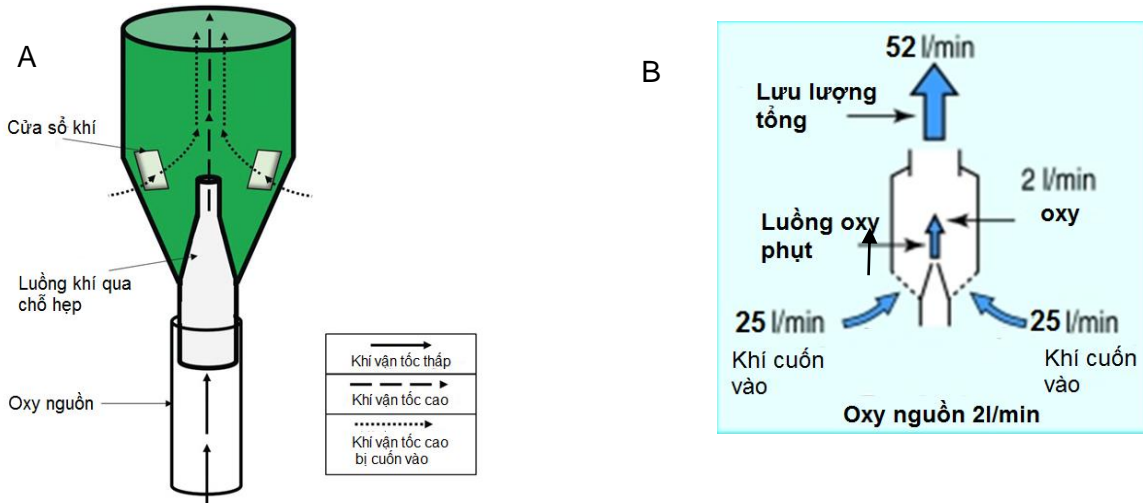
Hình 7: Mặt nạ có túi dự trữ. A. Mô tả mặt nạ có túi dự trữ - B. Cơ chế hoạt động mặt nạ có túi dự trữ thở lại và không thở lại. Nguồn: Fishman's Pulmonary Diseases and Disorders 2015¹¹

5. CÁC DỤNG CỤ DẪN OXY LƯU LƯỢNG CAO

5.1. Mặt nạ Venturi:

Mặt nạ Venturi là mặt nạ thở oxy được phát minh bởi E.J. Campbell vào năm 1967. Mặt nạ Venturi hoạt động dựa trên nguyên lý Bernoulli: Luồng khí vận tốc cao đi qua chỗ hẹp sẽ tạo môi trường áp suất thấp và tạo áp lực cạnh dòng cuốn không khí xung quanh vào dòng khí chính. Thể tích khí bị cuốn vào nhiều hay ít tùy theo diện tích của các cửa sổ khí to hay nhỏ khác nhau, nhờ đó cung cấp tỷ lệ cực kỳ chính xác giữa oxy (100%) từ nguồn và khí trời xung quanh (21%). Lưu lượng oxy nguồn kết hợp với lưu lượng không khí bị cuốn vào qua cửa sổ khí tạo ra lưu lượng tổng có thể lên đến 50 - 70 L/phút và thường sẽ vượt quá lưu lượng hít vào của bệnh nhân. Tuy nhiên, nhưng khi FiO_2 tăng > 35%, lưu lượng tổng thường thấp hơn do lượng không khí bị cuốn vào ít hơn¹⁷. (Hình 7)

Một bộ mặt nạ Venturi thường có 6 loại với 6 màu sắc quy ước, tương ứng với các mức FiO_2 khác nhau: 24%, 28%, 31%, 35%, 40%, 60% và trên mỗi loại mặt nạ có ghi lưu lượng oxy nguồn thấp nhất có thể sử dụng. Ngoài ra, còn có loại mặt nạ Venturi có thể điều chỉnh mức FiO_2 theo vạch (Hình 8B). Một nghiên cứu đã cho thấy những bệnh nhân có nhịp thở > 30 lần/phút thường có lưu lượng hít vào cao hơn lưu lượng tối thiểu được ghi trên mặt nạ và có thể làm FiO_2 thay đổi do hít thêm khí trời¹⁸. Do đó, đối với bệnh nhân có nhịp thở nhanh > 30 lần /phút, nên điều chỉnh lưu lượng oxy nguồn cao hơn mức tối thiểu quy định trên mặt nạ.

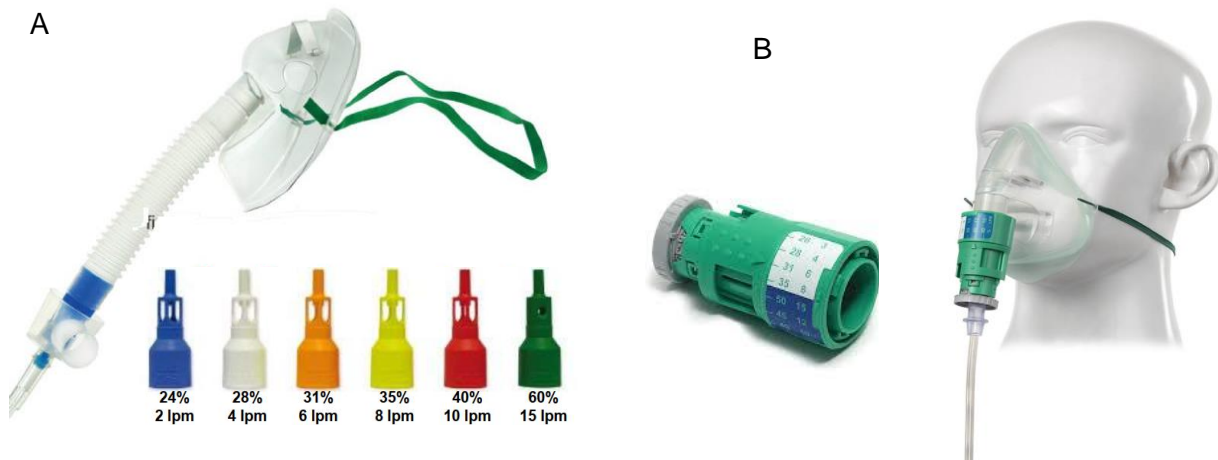


LƯU LƯỢNG TỔNG TƯƠNG ỨNG CÁC MỨC LƯU LƯỢNG VÀ CÁC LOẠI MẶT NẠ VENTURI

Lưu lượng oxy nguồn L/min	Venturi FIO ₂					
	24	28	31	35	40	60
15				84	82	30
12				67	50	24
10			78	56	41	
8		89	63	46		
6		67	47			
4	102	44				
2	51					
Lưu lượng tổng L/min						

Hình 8: Mặt nạ Venturi và nguyên lý Bernoulli. A: Cấu tạo mặt nạ Venturi - B: Nguyên tắc hoạt động mặt nạ Venturi - C: Bảng lưu lượng tổng tương ứng FIO₂ và lưu lượng nguồn; Nguồn BTS 2017²

Ưu điểm của mặt nạ Venturi là có thể cung cấp FIO₂ chính xác, và là dụng cụ dẫn oxy duy nhất có thể cung cấp FIO₂ cố định trước khi HFNC (oxy dòng cao qua cannula mũi) ra đời. Khả năng cung cấp FiO₂ chính xác ở mức FiO₂ thấp khiến cho mặt nạ Venturi trở nên lý tưởng cho những bệnh nhân mắc bệnh phổi mạn tính có nguy cơ tăng CO₂ máu do thở oxy liều cao. Hiện tại, mặt nạ Venturi 24% và 28% được khuyến nghị là liệu pháp oxy hàng đầu ở những bệnh nhân có nguy cơ tăng CO₂ máu, COPD....² Nếu đang dùng Venturi 60%, nên chuyển sang mặt nạ có túi dự trữ. Lưu ý quan trọng: Độ chính xác của FIO₂ sẽ giảm nếu mặt nạ đặt không đúng vị trí trên mặt bệnh nhân. Khuyết điểm của loại mặt nạ này cũng là khuyết điểm chung của các loại mặt nạ thở oxy.



Hình 9: Mặt nạ Venturi. A: Bộ mặt nạ Venturi gồm 6 loại thay thế- B: Mặt nạ Venturi điều chỉnh được- Nguồn [http:// www.intersurgical.com](http://www.intersurgical.com)

5.2. Liệu pháp oxy lưu lượng cao qua cannula mũi (HFNC: High flow nasal cannula)

5.2.1. Cấu tạo máy HFNC

Là hệ thống cung cấp oxy lưu lượng cao lên đến 60 - 100l/ph, bao gồm ba bộ phận: giao diện bệnh nhân (cannula mũi), thiết bị pha trộn và phân phối khí và máy làm ẩm và tạo độ ẩm (Hình 10).

- Cannula mũi mềm dẻo, có 2 nhánh vừa khít giúp hạn chế các khoảng hở, rò khí, nhưng không che kín hoàn toàn lỗ mũi bệnh nhân để đảm bảo thở ra vừa đủ và tránh chướng bụng. Cannula mũi tạo sự thoải mái cho người bệnh hơn hẳn so với thở oxy qua mặt nạ. Một nghiên cứu so sánh HFNC với mặt nạ Venturi và NIV (Non-invasive ventilation: thở máy không xâm lấn) ở bệnh nhân suy hô hấp hạ oxy máu cho thấy HFNC đạt được cân bằng tốt hơn giữa hiệu quả cải thiện oxy hóa máu và sự thoải mái cho bệnh nhân so với NIV và mặt nạ Venturi¹⁹.

- Bộ trộn khí: Bộ pha trộn khí trời – oxy cơ học có kèm lưu lượng kế sử dụng tua-bin để hút không khí trong phòng và khí oxy từ nguồn theo tỉ lệ nhất định để đạt FIO2 mong muốn, lưu lượng dòng khí lên đến 60 – 100l/ph. Bộ trộn oxy được kết nối với mạch nhiệt cho phép chuẩn độ chính xác FiO2 từ 21 đến 100% mà không phụ thuộc vào lưu lượng.

- Bộ phận làm ẩm & làm ấm: Toàn bộ dòng khí bệnh nhân hít vào đều qua hệ thống do lưu lượng dòng khí cao hơn lưu lượng hít vào. Dòng khí này cần phải được làm ẩm và làm ấm với độ ẩm đạt 100% và nhiệt độ 37°C. Độ ẩm tăng dẫn đến hàm lượng nước trong chất nhầy tăng lên, tạo điều kiện thuận lợi cho việc loại bỏ dịch tiết, làm giảm công thở, tránh làm khô đường thở và tổn thương biểu mô. Dòng khí cũng cần được làm

ấm để duy trì độ ẩm cần thiết, đồng thời tránh hơi nước lắng đọng trên dây thở của hệ thống.

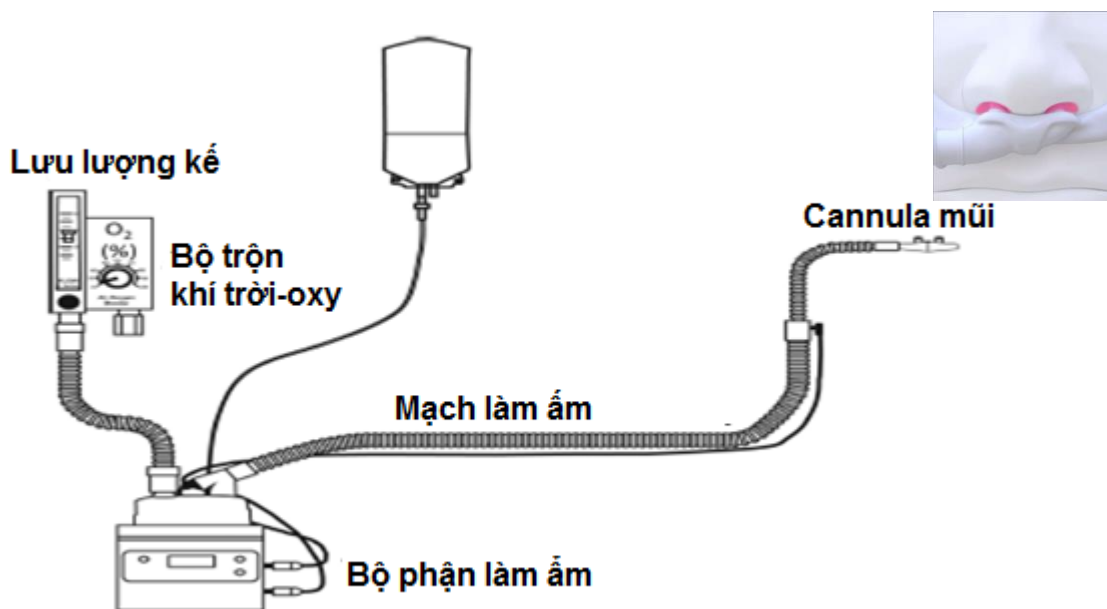
5.2.2. Lợi ích của HFNC:

Dòng khí lưu lượng cao của hệ thống HFNC có thể mang lại các lợi ích như sau:

- **Cung cấp FIO₂ cố định:** Lưu lượng dòng khí cao đến 60 – 100l/ph nên thường cao hơn lưu lượng hít vào của bệnh nhân, nhờ vậy không bị pha trộn với khí trời. Nhờ vậy FIO₂ thực tế của người bệnh tương đối ổn định và chính xác như mức điều chỉnh. Lưu ý, nếu bệnh nhân kết hợp thở miệng sẽ làm FIO₂ bị thay đổi. Lưu lượng dòng khí cao cũng đã được chứng minh là giúp cải thiện kiểu thở bằng cách tăng thể tích khí lưu thông và giảm nhịp thở²⁰.

- **Rửa sạch khoảng chết giải phẫu:** Lưu lượng dòng khí cao còn giúp tạo ra luồng khí tươi mới liên tục ở tốc độ cao để thay thế hoặc rửa sạch khoảng chết ở vùng hầu họng của bệnh nhân, thay thế cho khí cũ hàm lượng O₂ thấp và CO₂ cao. Mỗi hơi thở sẽ được rửa sạch CO₂ và thay thế bằng khí giàu oxy và do đó cải thiện được hiệu quả hô hấp.

- **Tạo hiệu ứng áp lực dương cuối thì thở ra (PEEP: Positive end expiratory pressure):** Lưu lượng dòng khí cao đủ để chống lại lưu lượng thở ra và tạo áp lực dương trong đường thở ở cuối thì thở ra. Áp lực dương này dù nhỏ nhưng mang lại những lợi ích: Tái huy động phế nang (tăng số lượng phế nang tham gia thông khí) và đẩy nước từ trong lòng phế nang vào mô kẽ quanh mạch máu trong hội chứng lấp đầy phế nang, loại bỏ PEEP nội sinh ở những bệnh nhân có tắc nghẽn luồng khí thở ra, căng phồng phổi quá mức^{20,21}, nhờ vậy làm giảm bớt công thở.



Hình 10: Cấu tạo dụng cụ HFNC (High flow nasal cannula). Nguồn: ERS Conference 2021²⁶

5.2.3. Theo dõi khi sử dụng HFNC – Chỉ số ROX

Chỉ số ROX được sử dụng để dự đoán khả năng thất bại của HFNC, được tính theo công thức:

$$\text{ROX} = \frac{\text{SpO}_2 / \text{FiO}_2}{\text{RR}} \times 100$$

Đơn vị SpO₂ %; FIO₂ %; RR (nhịp thở): số lần/phút

Chỉ số ROX thường được ghi nhận tại các thời điểm 2 giờ, 6 giờ hoặc 12 giờ tính từ lúc bắt đầu sử dụng HFNC. Chỉ số ROX $\geq 4,88$ tại các thời điểm này cho thấy nguy cơ đặt nội khí quản thấp ở bệnh nhân viêm phổi có suy hô hấp hạ oxy máu²². Một nghiên cứu phân tích gộp từ 9 nghiên cứu khác nhau khảo sát giá trị của chỉ số ROX trong dự đoán nguy cơ thất bại của HFNC²³ cho thấy độ nhạy và độ đặc hiệu gộp của chỉ số ROX lần lượt là 0,67 (KTC 95% 0,57–0,76) và 0,72 (KTC 95% 0,65–0,78) với giá trị ngưỡng > 5; khi phân tích dưới nhóm cho thấy chỉ số ROX có tính dự đoán cao hơn ở bệnh nhân COVID-19 so với nhóm bệnh nhân viêm phổi và suy hô hấp cấp, tuy nhiên thời điểm để đánh giá hữu ích nhất của chỉ số này cần có thêm nhiều số liệu.

5.2.4. Chỉ định sử dụng HFNC trong xử trí suy hô hấp cấp

HFNC là phương pháp điều trị không xâm lấn được sử dụng trong xử trí sớm các tình trạng suy hô hấp cấp, cùng với các liệu pháp oxy thông thường (COT= conventional oxygen therapy, bao gồm cannula mũi và các loại mặt nạ thở oxy) và thông khí không xâm lấn (NIV). Lợi ích của HFNC, về mặt lâm sàng (sự thoải mái của bệnh nhân và dễ sử dụng) và sinh lý (oxy hóa cao, huy động phế nang, làm ấm và sủi ẩm, tăng khả năng thanh thải bài tiết, giảm khoảng chết), có thể giúp ngăn ngừa sự sụt giảm chức năng phổi và đặt nội khí quản²⁴. Tuy nhiên, rủi ro và lợi ích của HFNC có thể khác nhau trong các tình huống suy hô hấp cấp khác nhau. Mặc dù HFNC thoải mái và dễ dung nạp hơn khi so sánh với COT và NIV, khả năng giảm tải cơ hô hấp trong suy hô hấp cấp có thể thấp hơn so với NIV; hơn nữa, việc kéo dài hỗ trợ hô hấp không xâm lấn ở những bệnh nhân thất bại với HFNC có thể dẫn đến việc đặt nội khí quản bị trì hoãn và làm nặng thêm tỷ lệ tử vong tại bệnh viện²⁵. Hội Hô hấp Châu Âu (ERS) đã đưa ra các khuyến nghị dựa trên bằng chứng về HFNC ở người lớn suy hô hấp cấp²⁶ (Bảng 2).

Bảng 2 Khuyến cáo sử dụng HFNC trong suy hô hấp cấp của ERS 2022²⁶

Câu hỏi PICO	Khuyến cáo	Mức độ bằng chứng
1. Có nên sử dụng HFNC hoặc COT ở bệnh nhân suy hô hấp cấp hạ oxy máu?	Nên sử dụng HFNC thay vì COT ở bệnh nhân suy hô hấp cấp hạ oxy máu.	Trung bình
2. Có nên sử dụng HFNC hoặc NIV ở bệnh nhân suy hô hấp cấp hạ oxy máu?	Nên sử dụng HFNC thay vì NIV trong suy hô hấp cấp hạ oxy máu.	Rất thấp
3. Có nên sử dụng HFNC hoặc COT trong thời gian tạm dừng NIV ở bệnh nhân suy hô hấp hạ oxy máu?	Nên sử dụng HFNC thay vì COT trong thời gian tạm dừng NIV ở bệnh nhân suy hô hấp hạ oxy máu.	Thấp

4. Có nên sử dụng HFNC hoặc COT cho bệnh nhân hậu phẫu sau rút nội khí quản?	Nên sử dụng COT hoặc HFNC ở bệnh nhân hậu phẫu có nguy cơ biến chứng hô hấp thấp.	Thấp
5. Có nên sử dụng HFNC hoặc NIV ở bệnh nhân hậu phẫu sau rút nội khí quản?	Nên sử dụng HFNC hoặc NIV ở bệnh nhân hậu phẫu có nguy cơ cao biến chứng hô hấp.	Thấp
6. Có nên sử dụng HFNC hoặc COT ở bệnh nhân không phẫu thuật sau rút nội khí quản?	Nên sử dụng HFNC thay vì COT ở bệnh nhân không phẫu thuật sau rút nội khí quản.	Thấp
7. Có nên sử dụng HFNC hoặc NIV ở bệnh nhân không phẫu thuật sau rút nội khí quản?	Nên sử dụng NIV thay vì HFNC ở bệnh nhân có nguy cơ thất bại rút nội khí quản cao, trừ khi có chống chỉ định tuyệt đối hoặc tương đối với NIV.	Trung bình
8. Có nên sử dụng HFNC hoặc NIV ở bệnh nhân suy hô hấp tăng CO2 máu cấp?	Nên thử nghiệm NIV trước khi sử dụng HFNC ở bệnh nhân COPD và suy hô hấp tăng CO2 máu cấp.	Thấp

PICO: Population, intervention, comparison, outcomes; HFNC: High flow nasal cannula; COT: Conventional oxygen therapy; NIV: Non-invasive ventilation

- Đối với những bệnh nhân suy hô hấp hạ oxy máu (type 1):

HFNC không thích hợp ở bệnh nhân đáp ứng tốt với oxy lưu lượng thấp qua cannula mũi hoặc bệnh nhân có chỉ định đặt nội khí quản sớm bao gồm cả thất bại NIV.

Đối với bệnh nhân suy hô hấp hạ oxy máu nặng có $paO_2/FIO_2 < 300$ mmHg:

-So với các phương pháp thở oxy qua mặt nạ, HFNC nên được ưu tiên chỉ định ở những bệnh nhân suy hô hấp cần mức FIO_2 cao vì bệnh nhân dễ dung nạp hơn, bao gồm cả trong thời gian tạm nghỉ của thở NIV.

-Ở bệnh nhân có chỉ định thở NIV, HFNC là một lựa chọn thay thế, nhất là những bệnh nhân có paO_2/FIO_2 150-300mmHg. Việc xác định bệnh nhân nào có nhiều khả năng hưởng lợi nhất từ HFNC cần có sự đánh giá của bác sĩ lâm sàng. HFNC dễ dung nạp hơn so với NIV nhưng thường có lực PEEP không đủ mạnh và giảm công thở kém hiệu quả hơn so với NIV. Khi sử dụng HFNC, để tránh chập trễ chỉ định thông khí nhân tạo, các bác sĩ nên cảnh giác với các dấu hiệu tăng nhịp thở, mất đồng bộ ngực-bụng sau 15 phút và không cải thiện paO_2 sau một giờ kể từ khi bắt đầu điều trị HFNC²¹.

- Đối với những bệnh nhân suy hô hấp tăng CO2 máu (type 2) bao gồm cả bệnh nhân suy hô hấp tăng CO2 máu trong đợt cấp COPD:

HFNC có cơ sở lý luận về mặt sinh lý (tức là cải thiện oxy hóa, tạo áp suất dương cuối kỳ thở ra, giảm khoảng chết) để sử dụng trong đợt cấp tăng CO2 máu của bệnh nhân COPD. Cùng với tính dễ sử dụng và sự thoải mái của bệnh nhân, HFNC có thể là phương pháp thay thế cho NIV trong điều trị suy hô hấp cấp tăng CO2 máu với mức độ nhiễm toan hô hấp từ nhẹ đến trung bình. Tuy nhiên, vai trò của nó trong COPD và các bệnh khác có biểu hiện suy hô hấp cấp tăng CO2 máu vẫn chưa được xác định rõ ràng. Đối với bệnh nhân đợt cấp COPD nhiễm toan hô hấp với $pH \leq 7,35$, GOLD 2023 (Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of COPD) khuyến nghị sử dụng

NIV với tỉ lệ thành công 80 – 85%²⁷. Các bằng chứng hiện nay không đủ để đưa ra khuyến nghị có lợi cho HFNC, và cần có thêm bằng chứng trước khi HFNC có thể được coi là tương đương hoặc vượt trội hơn NIV ở những bệnh nhân này. Vì vậy Hội Hô hấp châu Âu ERS đề xuất thử nghiệm NIV trước khi sử dụng HFNC, qua đó các bác sĩ lâm sàng xác định mức độ nghiêm trọng của suy hô hấp, đáp ứng với điều trị và liệu bệnh nhân có thể chuyển sang HFNC hay không. HFNC nên được ưu tiên hơn điều trị oxy truyền thống trong thời gian nghỉ NIV vì HFNC làm giảm đáng kể sự kích hoạt của cơ hoành và cải thiện sự thoải mái mà không ảnh hưởng nhiều đến trao đổi khí.

- Ngoài 2 đối tượng trên, HFNC còn có thể được chỉ định ở bệnh nhân nội khoa sau rút nội khí quản, bệnh nhân hậu phẫu sau rút nội khí quản²⁶. Mặc dù còn nhiều bàn cãi, HFNC có thể được sử dụng để hỗ trợ thủ thuật đặt nội khí quản (4 phút trước khi đặt hoặc trong lúc đặt nội khí quản)²¹.

6. TÓM TẮT CÁCH TIẾP CẬN SUY HÔ HẤP CẤP

Các phương pháp hỗ trợ oxy được sắp xếp cách tiếp cận như sau tùy theo mức độ suy hô hấp cấp nhẹ, trung bình, nặng hay rất nặng. (Hình 11).



Hình 11: Các phương pháp tiếp cận suy hô hấp cấp theo độ nặng. Nguồn:

<https://www.google.com/url/www.philips.com.vn/optimal-niv-and-high-flow-oxygen-therapy>

Khi bệnh nhân có suy hô hấp cấp hạ oxy máu có tăng hay không tăng CO₂, có chỉ định điều trị oxy hỗ trợ (SpO₂ < 90% và/hoặc paO₂ < 60mmHg). Cách tiếp cận như sau²⁸:

- Đối với hầu hết bệnh nhân suy hô hấp cấp không tăng CO₂, thường khởi đầu với cannula mũi (1 - 6 lít/phút). Nếu bệnh nhân thở miệng hoặc không dung nạp cannula mũi, thay bằng mặt nạ đơn giản. Nếu bệnh nhân có nguy cơ tăng CO₂, khởi đầu bằng cannula mũi liều rất thấp hoặc mặt nạ Venturi 24 -28%.

- Khi nhu cầu oxy lớn hơn mức 6 lít/phút (khó thở, tím tái, SpO₂ không cải thiện...), thường cần hỗ trợ hô hấp nâng cao. Các chọn lựa bao gồm:

- Oxy lưu lượng cao qua hệ thống lưu lượng thấp (các loại mặt nạ oxy)

- Oxy lưu lượng cao qua cannula mũi HFNC
- Thông khí không xâm lấn NIV

Trong các lựa chọn này, nên ưu tiên khởi đầu với HFNC trừ khi có chỉ định đặc biệt khác. Nếu bệnh nhân không dung nạp HFNC hoặc HFNC không có sẵn, sử dụng oxy lưu lượng cao qua mặt nạ. Xem xét chỉ định thông khí không xâm lấn.

- Ưu tiên chỉ định thở NIV trong các trường hợp đợt cấp COPD có toan hô hấp pH<7,35, suy hô hấp cấp hạ oxy máu do phù phổi cấp do tim, suy hô hấp tăng CO2 máu do bệnh lý thần kinh cơ hoặc bệnh thành ngực.

7. KẾT LUẬN

Chỉ định điều trị oxy trong bệnh viện khi có suy hô hấp cấp là phương pháp điều trị thiết yếu giúp cứu mạng người bệnh nhờ cải thiện oxy hóa máu ngay lập tức. Hiểu rõ khía cạnh kỹ thuật của nguồn oxy, các ưu thế và khuyết điểm của các loại dụng cụ dẫn oxy khác nhau và cách tiếp cận hợp lý giúp các bác sĩ lâm sàng xử trí hiệu quả các trường hợp suy hô hấp cấp và phòng tránh các trường hợp lạm dụng oxy quá mức.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Heffner JE. The story of oxygen. *Respir Care*. 2013;58(1):18–31.
2. BR O’Driscoll. BTS guideline for oxygen use in adult in healthcare and emergency settings. *Thorax* 2017; 72 i1 – i90. Doi 10.1136/thoraxjnl-2016. 209729
3. BR O’Driscoll. BTS guideline for emergency oxygen use in adult patients. *Thorax* October 2008. Vol 63 Supplement VI
4. Jain R, Sharma C. Oxygen Supply in Hospitals: Requisites in the Current Pandemic. *Anesth Essays Res*. 2021 Jul-Sep;15(3):253-256. doi: 10.4103/aer.aer_116_21. Epub 2022 Feb 7. PMID: 35320955; PMCID: PMC8936862.
5. La Fauci V, Costa GB, Facciola A, Conti A, Riso R, Squeri R. Humidifiers for oxygen therapy: what risk for reusable and disposable devices? *J Prev Med Hyg*. 2017 Jun;58(2):E161-E165. PMID: 28900356; PMCID: PMC5584085.
6. Cameron JL, Reese WA, Tayal VS, et al. Bacterial contamination of ambulance oxygen humidifier water reservoirs: a potential source of pulmonary infection. *Ann Emerg Med* 1986;15:1300–2.
7. Levitzky's. *Physical Principles of Gas Exchange. Pulmonary Physiology* (McGraw-Hill, 1982
8. Cairo JM. Administering medical gases: regulators, flow meters and controlling devices. In: Cairo JM, Pilbeam SP, eds. *Respiratory Care Equipment*. St. Louis: CV Mosby; 1999: 62–89. [Google Scholar](#)
9. Ahrens, Thomas, et al. *Essentials of Oxygenation: Implication for Clinical Practice*. Massachusetts, United States: Jones & Bartlett Learning, 1993.

10. Agarwal R., Gupta D. What Are High-Flow and Low-Flow Oxygen Delivery Systems? *Stroke*. 2005;36:2066–2067
<https://doi.org/10.1161/01.STR.0000185387.51425.f9>
11. Wemple M, Benditt J.O. Oxygen Therapy and Toxicity. *Fishman's Pulmonary Diseases and Disorders 2015-* Mac GrawHill. Chapt 144
12. B. Kane, S. Decalmer, BR O'Driscoll. Emergency oxygen therapy: from guideline to implementation. *Breathe* June 2013, Vol 9 No4: 247-254.
13. DS Martin, MPW Grocott. Oxygen therapy in critical illness. *Crit Care Med*. 2013;41(2):423-432.
14. Jia S., Hyzy RC. Non invasive support of oxygenation. *Murray & Nadel's Textbook of Respiratory Medicine 7th edition*. Chapt 137. ISBN 978-0-323-65587-3. © 2022. 2222-2236.
15. Nagler S. Continuous oxygen delivery systems for the acute care of infants, children, and adults. [https://www.uptodate.com/contents/continuous-oxygen-delivery-systems/last updated: Jul 19, 2023](https://www.uptodate.com/contents/continuous-oxygen-delivery-systems/last-updated:Jul-19-2023).
16. Abe Y, Kondo T, Yamane Y, et al. The efficacy of an oxygen mask with reservoir bag in patients with respiratory failure. *Tokai J Exp Clin Med*. 2010;35(4):144–147.
17. Wagstaff TA, Soni N. Performance of six types of oxygen delivery devices at varying respiratory rates. *Anaesthesia*. 2007;62(5):492–503
18. Jones HA, Turner SL, Hughes JM. Performance of the large-reservoir oxygen mask (Ventimask). *Lancet* 1984;1:1427–31.
19. Schwabbauer N., Berg B., Blumenstock G., et al. (2014), "Nasal high-flow oxygen therapy in patients with hypoxic respiratory failure: effect on functional and subjective respiratory parameters compared to conventional oxygen therapy and non-invasive ventilation (NIV)", *BMC Anesthesiol*, 14, 66
20. Corley A, Caruana LR, Barnett AG, Tronstad O, Fraser J. Oxygen delivery through high-flow nasal cannulae increase end-expiratory lung volume and reduce respiratory rate in post-cardiac surgical patients. *Br J Anaesth*. 2011 Dec;107(6):998-1004. Epub 2011 Sep
21. Hyzy RC. Heated and humidified high-flow nasal oxygen in adults: Practical considerations and potential applications. [https://www.uptodate.com/contents/heated-and-humidified-high-flow-nasal-oxygen-in-adults-practical-considerations-and-potential-applications/last updated: Jul 19, 2023](https://www.uptodate.com/contents/heated-and-humidified-high-flow-nasal-oxygen-in-adults-practical-considerations-and-potential-applications/last-updated:Jul-19-2023).
22. Roca O., Caralt B., Messika J., et al. (2019), "An Index Combining Respiratory Rate and Oxygenation to Predict Outcome of Nasal High-Flow Therapy", *Am J Respir Crit Care Med*, 199 (11), 1368-1376
23. Junhai Z, Jing Y, Beibei C, Li L. The value of ROX index in predicting the outcome of high flow nasal cannula: a systematic review and meta-analysis.

Respir Res. 2022 Feb 17;23(1):33. doi: 10.1186/s12931-022-01951-9. PMID: 35177091; PMCID: PMC8851822.

24. Ricard J-D, Roca O, Lemiale V, et al. Use of nasal high flow oxygen during acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 2020; 46: 2238–2247
25. Kang BJ, Koh Y, Lim C-M, et al. Failure of high-flow nasal cannula therapy may delay intubation and increase mortality. *Intensive Care Med* 2015; 41: 623–632
26. Oczkowski S, Ergan B, Bos L, et al. ERS clinical practice guidelines: high-flow nasal cannula in acute respiratory failure. *Eur Respir J* 2022; 59: 2101574 [DOI: 10.1183/13993003.01574-2021].
27. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Updated 2023. <http://www.goldcopd.org>.
28. Sood Sh. Evaluation and management of the nonventilated, hospitalized adult patient with acute hypoxemia. [https://www.uptodate.com/contents/evaluation-and-management-of-the-nonventilated-hospitalized-adult-patient-with-acute-hypoxemia/last updated: Aug 19, 2023](https://www.uptodate.com/contents/evaluation-and-management-of-the-nonventilated-hospitalized-adult-patient-with-acute-hypoxemia/last-updated:Aug-19-2023).