

後疫情時代的氧氣治療策略 與氣溶膠傳播風險

臺北市立聯合醫院中興院區 急診醫學科
陳緯綸 洪子堯 吳岱穎 蔡景耀

前言

2019年開始，2019冠狀病毒(COVID-19)引發了全球大流行。直到目前，全球已報告無數確診病例，全球死亡人數最近已超過數百萬。嚴重急性呼吸道症候群冠狀病毒(SARS-CoV-2)透過上呼吸道不同大小的分泌物傳播，如打噴嚏、咳嗽，甚至是呼吸，特別是在呼吸過程中，由氣道持續產生的氣流可以更容易傳播。

氣道分泌物可以為飛沫(droplet)或氣溶膠(aerosols)形式，隨著粒子大小的增加，粒子中的病毒數量也增加¹，SARS-CoV-2可以在氣溶膠形式中存活3小時，而在空氣中的總存活時間可能更長²。醫療過程中涉及患者氣道的許多處置可能會將帶有病毒的氣溶膠或飛沫傳播至空氣中，即為氣溶膠生成處置(aerosol-generating procedures, AGPs)³，例如鼻胃管插入、非侵入性通氣、機械通氣、心肺復甦術和氣管插管等。

COVID-19感染的臨床表現範圍從完全無症狀到出現輕微呼吸或腸道症狀，再到發展為嚴重呼吸衰竭，由於年齡較大的人群共病比例較高，更容易發展成嚴重的SARS-CoV-2感染。低血氧是嚴重2019冠狀病毒病例的症狀之一⁴，並且通常對這類中重度患者會給予多種不同的氧氣治療。

氧氣治療被普遍用在低血氧的病患身上。傳統的氧氣治療通常低於15 L/min的流量，例如鼻導管氧氣治療(nasal cannula, NCO)1-6 L/min、面罩(simple mask)5-10 L/min和非再吸入

性面罩(non-rebreathing mask, NRM)10-15 L/min，可以提供吸入氧氣分率(FiO₂)介於0.24-0.95之間。除了標準的氧氣治療外，鼻導管在較高流速時(6-15 L/min)可以將FiO₂從0.49提高到0.72⁵。對於更嚴重的低血氧症，患者往往需要進行氣管插管與侵入性機械通氣，因此在緊急插管前可以使用鼻導管 15 L/min與非再吸入性面罩 15 L/min合併使用進行預先給氧(pre-oxygenation)可以降低插管期間低血氧的發生率⁶。此外，以高流速非再吸入性面罩(flush rate NRM)使用被認為與袋瓣罩甦醒球(bag-valve-mask)裝置具有相同的效果，並且廣泛使用在插管前的給氧中⁷。使用高流速鼻導管(high flow nasal cannula, HFNC)則可以降低嚴重低血氧症患者的插管率。

然而，所有氧氣治療都屬於氣溶膠生成處置(AGPs)，可能會從患者氣道中產生受污染的氣溶膠和飛沫，特別是在密切接觸或封閉空間中通過空氣傳播。另外增加氧氣治療設備的流速，例如使用高流速鼻導管，可以提供更高氧氣分率，這可以改善低氧血症情況，但也可能產生氣溶膠和飛沫的散播⁸。在疫情肆虐的時代，已有許多文獻探討氧氣治療與空氣粒子傳播的相關性，對於未來可能再有的新型空氣飛沫傳播疾病，能夠提供氧氣治療的借鏡降低醫護人員之風險。

流場可視化

分析空氣中粒子分布與運動情況目前比較廣泛使用為流場可視化技術，隨著科技演進，粒子成像測速(particle image velocimetry, PIV)

表一 臨床常用給氧裝置

鼻導管 (nasal cannula)	給氧氣1-5 L /min，分為兩條分支可提供24~44%之氧氣濃度，每條分支末端都有一個小的彎曲管。
面罩 (simple mask)	5-10 L/min的氧氣流速下可提供40-60%氧氣濃度。吸入氧氣濃度受呼吸速率及潮氣量影響。
非再吸入式面罩 (non-rebreathing mask)	10-15 L/min提供較高濃度的氧氣，通常在60%到100%之間，非再吸入式面罩通常沒有再吸入袋。患者呼出的氣體不會再次通過面罩的氧氣系統，有助於防止二氧化碳的再吸入。
高流速鼻導管 (high flow nasal cannula, HFNC)	流速大(60-80L/min)且吸入氧氣濃度穩定。唯費用較高。研究顯示，高流速鼻導管可減少病人呼吸做功、改善肺部氣體交換、改善肺部容積及動態順應性，進而改善肺部氧合與通氣，也可減少高二氧化碳血症之發生。一些研究顯示，高流速鼻導管有降低急性低血氧性呼吸衰竭病人的插管率及死亡率的趨勢。

技術作為一種非接觸、暫態、動態、全流場的速度場測量技術。隨著與光機電、數位圖像處理以及電腦技術近二十年來的同步發展，粒子成像測速系統已逐漸成為一項成熟而得以廣泛應用的流體測量工具，再加上雷射光頁產生裝置可以提供反射可視化粒子的光源，藉此觀察流場型態配合高速攝影機捕捉粒子動態，因此可以達到高解析度之流場可視化。通常用於研究流體的運動和模式，這在COVID-19傳播的研究中也可能有一定的應用，在疫情盛行時期，有許多關於氣溶膠(aerosol)傳播的研究皆使用粒子圖像測速分析粒子傳播的情況，而分析的內容如下：

空氣傳播路徑的研究：流場可視化可以了解空氣中微粒的運動方式，這對於理解COVID-19病毒在空氣中的傳播路徑至關重

要。通過模擬流場，可以評估空氣中顆粒（例如飛沫）的傳播方向和距離。

室內氣流分析：在封閉環境中，流場可視化有助於分析室內的空氣流動。這對於評估在封閉環境中可能存在的病毒傳播風險很重要，尤其是在密閉空間中，空氣循環可能導致病毒在房間內的傳播。

飛沫傳播模式：流場可視化可以用於模擬和觀察飛沫的傳播。這對於瞭解在咳嗽、打噴嚏或說話時，飛沫如何在空氣中傳播，從而潛在地傳播COVID-19。

社交距離的影響：通過流場可視化，可以研究人與人之間的空氣流動，從而評估社交距離對於減緩病毒傳播的影響。這對於制定社交隔離和防控策略提供了建議。

文獻探討

第一線在醫院工作之醫護人員為感染之高風險族群，多數研究均探討進行醫療處置時可能被感染之風險分析，而分析方法在臨床上主要可以分成兩種方向，為不同氧氣治療下氣溶膠所能傳播之距離與濃度做為風險考量。

重度病患

臨床上病患因重度低血氧症，在臨床上常以喘做為表現，並且提高分鐘通氣量(minute ventilation)的方式來彌補不足的氧氣濃度，因此一篇研究顯示在不使用氧氣設備觀察假人呼吸3分鐘時¹⁰，氣溶膠的最大擴散為距口鼻處5公分處，但若使用高流速鼻導管時則可以達到6-8cm，這表示在高流量設備設置下，氣溶膠擴散會因為使用氧氣裝置而傳播得更遠。此外延長觀察時間到10分鐘，則傳播距離會更遠，即使低流量的鼻導管 4 L/min的擴散長度為最遠可以達到11公分，而高流速鼻導管則會傳播到135公分⁹。在COVID爆發期間，HFNC被認為是對於低血氧患者最有效的方法，降低了呼吸衰竭患者的插管率¹¹，但氣溶膠的傳播風險仍可能會跟著提升。

根據先前的研究，高流速鼻導管可以用作插管前的預先給氧(pre-oxygenation)，採用空氣/氧混合器、主動加濕器、加熱管和鼻導管進行，能夠以高達60-80L/min的流量輸送足夠加熱和加濕的氧氣，與其他標準氧氣治療方法相比，具有一系列生理優勢，包括減少解剖無效腔(anatomical dead space)、維持呼氣末期正壓(positive end-expiratory pressure, PEEP)、穩

定的FiO₂和良好的加濕，從而減少呼吸頻率和呼吸工作，從而減少了COVID-19患者插管的必要性¹²。

於嚴重低氧症患者中，應考慮加強插管前的預先給氧(pre-oxygenation)，增加呼吸道的氧氣含量，以防止插管前或插管過程中病患缺氧。一項研究使用高流速flush rate NRM進行氣道預先給氧可以達到50-54 L/min的流量¹³，並且與使用BVM氧氣治療不相上下。在這項研究中，高流速NRM在環境中產生的氣溶膠濃度最高。原因在於NRM本身使用的是未封閉的面罩，氣溶膠粒子從NRM與臉部的間隙洩漏量大，雖然高流動系統可以提供更多氧氣，但也導致傳染性顆粒更廣泛傳播。

中重度病患

在中度到重度低氧患者中，可以使用NCO或simple mask提供氧氣，每分鐘約4-6升的氧氣流速。研究發現在病患坐臥角度為30度仰角的模擬患者口中呼出的顆粒氣溶膠濃度，在靠近床尾的濃度最高，明顯高於床欄兩側或頭部。因此病患呼出的氣體顆粒為彈道運動呈拋物線軌跡⁹。隨著動能的減小，氣溶膠顆粒可能懸浮在積聚的區域為床尾處¹⁰，隨著時間增加，氣溶膠的濃度也會越來越高。此外也發現，只要使用氧氣設備不論流量，床尾的氣溶膠顆粒濃度都高於其他部位。

一項先前的研究，顯示SARS-CoV-2顆粒在通風良好的房間內停留約5-15分鐘¹⁴，但在另一項2020年的研究中，顆粒在沒有通風的環境中在持續停留3小時具有強大的存活能力¹⁵。

因此在密閉空間的通風率還將有助於清除受污染的氣溶膠並降低醫務人員的感染風險。

結論

每個氧氣裝置都會增加傳播距離，其中在HFNC中發現的傳播距離最高。此外，當氧氣裝置的流量小時，產生的氣溶膠的濃度較低。然而，在HFNC和flush rate NRM等高流量氧合裝置中，氣溶膠的濃度會變高。這也增加了對醫務人員的感染風險。此外，在所有氧合裝置設置中，床尾位置的濃度高於軀幹和頭部位置，當醫務人員位於床尾時進行醫療處置後應更加謹慎。

因此，如果醫務人員需要進入充滿傳染性氣溶膠粒子和病毒的高流量氧氣裝置時，均應使用個人防護裝備。

參考文獻

1. Ochani R, Asad A, Yasmin F, et al: COVID-19 pandemic: from origins to outcomes. A comprehensive review of viral pathogenesis, clinical manifestations, diagnostic evaluation, and management. *Infez Med* 2021; 29(1): 20-36.
2. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, et al: Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* 2020; 382(16): 1564-7.
3. Kohanski MA, Lo LJ, Waring MS: Review of indoor aerosol generation, transport, and control in the context of COVID-19. *Int Forum Allergy Rhinol* 2020; 10(10): 1173-9.
4. Wilkerson RG, Adler JD, Shah NG, et al: Silent hypoxia: a harbinger of clinical deterioration in patients with COVID-19. *Am J Emerg Med* 2020; 38(10): 2243.e5-6.
5. Wettstein RB, Shelledy DC, Peters J I: Delivered oxygen concentrations using low-flow and high-flow nasal cannulas. *Respir Care* 2005; 50(5): 604-9.
6. Pavlov I, Medrano S, Weingart S: Apneic oxygenation reduces the incidence of hypoxemia during emergency intubation: a systematic review and meta-analysis. *Am J Emerg Med* 2017; 35(8): 1184-9.
7. Driver BE, Prekker ME, Kornas RL, et al: Flush rate oxygen for emergency airway preoxygenation. *Ann Emerg Med* 2017; 69(1): 1-6.
8. Remy KE, Lin JC, Verhoef PA: High-flow nasal cannula may be no safer than non-invasive positive pressure ventilation for COVID-19 patients. *Crit Care* 2020; 24(1): 169.
9. Wu CC, Chen WL, Tseng CW, et al: Continuous aerosol monitoring and comparison of aerosol exposure based on smoke dispersion distance and concentrations during oxygenation therapy. *Sci Rep* 2023; 13(1): 15910.
10. Hung TY, Chen WL, Su YC, et al:

The Aerosol-Generating Effect among noninvasive positive pressure ventilation, high-flow nasal cannula, nonrebreather mask, nasal cannula, and ventilator-assisted preoxygenation. *Ann Emerg Med* 2022; 80(1): 22-34

11. Hui DS, Chan MT, Chow B: Aerosol dispersion during various respiratory therapies: a risk assessment model of nosocomial infection to health care workers. *Hong Kong Med J* 2014; 20 Suppl 4: 9-13.
12. Gürün Kaya A, Öz M, Erol S, et al: High flow nasal cannula in COVID-19: a literature review. *Tuberk Toraks* 2020; 68(2): 168-74.
13. Driver BE, Prekker ME, Kornas RL, et al: Flush rate oxygen for emergency airway preoxygenation. *Ann Emerg Med* 2017; 69(1): 1-6.
14. Tang JW, Bahnfleth WP, Bluyssen PM, et al: Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *J Hosp Infect* 2021; 110: 89-96.
15. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, et al: Aerosol and surface stability of HCoV-19 (SARS-CoV-2) compared to SARS-CoV-1. *medRxiv*. 2020 Mar 13:2020.03.09.20033217. [Preprint] 

