



HAL
open science

Oxygénothérapie à haut débit en périopératoire : quelles données ?

Joris Pensier, Lucas Deffontis, Yassir Aarab, Clément Monet, Mathieu
Capdevila, Samir Jaber, Audrey de Jong

► To cite this version:

Joris Pensier, Lucas Deffontis, Yassir Aarab, Clément Monet, Mathieu Capdevila, et al..
Oxygénothérapie à haut débit en périopératoire : quelles données ?. *Anesthésie & Réanimation*,
2021, 7 (2), pp.161-172. 10.1016/j.anrea.2021.02.002 . hal-03150384

HAL Id: hal-03150384

<https://hal.science/hal-03150384>

Submitted on 23 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Oxygénothérapie à haut débit en périopératoire : quelles données ?

Joris Pensier, Lucas Deffontis, Yassir Aarab, Clément Monet, Mathieu Capdevila, Samir Jaber, Audrey De Jong

CHU de Montpellier ; PhyMedExp, hôpital Saint-Eloi, University of Montpellier, département d'Anesthésie-Réanimation, INSERM, CNRS, 80, avenue Augustin-Fliche, 34295 Montpellier cedex, France

Correspondance :

Audrey De Jong , CHU de Montpellier ; PhyMedExp, hôpital Saint-Eloi, University of Montpellier, département d'Anesthésie-Réanimation, INSERM, CNRS, 80, avenue Augustin-Fliche, 34295 Montpellier cedex, France.
a-de_jong@chu-montpellier.fr

■ Résumé

Plus de 10 % des patients chirurgicaux vont présenter au moins une complication pulmonaire postopératoire. Plus les patients ont des comorbidités et plus la chirurgie est longue et invasive, plus le risque de complications pulmonaires augmente. L'oxygénothérapie nasale à haut débit (OHD) est un dispositif qui fournit un gaz inspiratoire chauffé et humidifié par une canule nasale à des débits plus élevés que l'oxygénothérapie conventionnelle (jusqu'à 70 L/min), avec une fraction inspirée en oxygène (FiO_2) pouvant varier de 21 % à 100 %. Au niveau physiologique, l'OHD améliore l'oxygénation, augmente les résistances expiratoires (responsable d'un modeste « effet Pression Expiratoire Positive » (PEP)), présente un effet lavage d'espace mort anatomique, améliore la clairance muco-ciliaire et diminue le coût métabolique de la respiration en fournissant un gaz inspiratoire réchauffé et humidifié. L'OHD a été proposée pour la procédure d'intubation au bloc opératoire. Seule, elle n'est pas aussi efficace que la méthode au masque pour la préoxygénation. Elle permet une oxygénation apnéique après la perte de la ventilation spontanée du patient, sans remplacer la ventilation au ballon en cas de désaturation. L'OHD peut être utilisée pour certaines procédures sans intubation, comme la chirurgie oro-pharyngée, l'endoscopie digestive ou l'électroconvulsivothérapie. L'oxygénation apnéique est efficace dans ces situations pour prévenir la désaturation. En périopératoire, l'OHD peut être utilisée pour la prévention de la détresse respiratoire aiguë postopératoire, notamment chez le patient hypoxémique ne tolérant pas la ventilation non invasive (VNI) ou la pression positive continue (*continuous positive airway pressure*, CPAP). En cas de survenue d'une détresse respiratoire aiguë postopératoire, une complication chirurgicale devra être éliminée. La VNI reste aujourd'hui la technique de référence, même si l'OHD a montré sa non-infériorité après chirurgie cardiothoracique.

■ Summary

Perioperative high-flow oxygenotherapy: What data?

More than 10 % of surgical patients will present at least one postoperative pulmonary complication. The more patients have comorbidities and the longer and more invasive the surgery, the greater the risk of pulmonary complications. High-Flow Nasal Oxygen Therapy (HFNO) is a device that delivers inspiratory gas heated and humidified through a nasal cannula at higher flow rates than conventional oxygen therapy (up to 70 L/min), with an inspired fraction in oxygen (FiO₂) which can vary from 21 % to 100 %. At the physiological level, HFNO improves oxygenation, increases expiratory resistance (responsible for a modest "Positive Expiratory Pressure effect" (PEP)), presents an anatomical dead space washing effect, improves mucociliary clearance and decreases the metabolic cost of respiration by providing warmed and humidified inspiratory gas. HFNO has been proposed for the operating theatre intubation procedure. It is not as effective as the bag valve mask method for pre-oxygenation. However, it can allow apnoeic oxygenation after the patient has lost spontaneous ventilation, without replacing bag valve mask ventilation in the event of desaturation. HFNO can be used for some procedures without intubation, such as oropharyngeal surgery, gastrointestinal endoscopy or electroconvulsive therapy. Apnoeic oxygenation is effective in these situations to prevent desaturation. Perioperatively, HFNO can be used for the prevention of acute postoperative respiratory distress, particularly in hypoxemic patients who cannot tolerate non-invasive ventilation (NIV) or continuous positive airway pressure (CPAP). If acute postoperative respiratory distress occurs, a surgical complication should be eliminated. NIV remains the gold standard nowadays, even though HFNO has shown its non-inferiority after cardiothoracic surgery.

Introduction

La réduction de la mortalité et de la morbidité per et post-opératoire est le principal objectif du médecin anesthésiste-réanimateur dans la prise en charge des patients en médecine périopératoire. Selon les dernières données disponibles, plus de 10 % des patients opérés vont présenter au moins une complication pulmonaire postopératoire [1]. Plus les patients ont des comorbidités et plus la chirurgie est longue et invasive, plus le risque de complications pulmonaires augmente [2]. Les patients qui survivent à ces complications pulmonaires postopératoires et sortent de l'hôpital ont par la suite une dépendance fonctionnelle plus marquée et une espérance de vie à long terme plus courte.

La survenue de complications pulmonaires est ainsi directement corrélée au pronostic du patient. Un des enjeux principaux de la période périopératoire est de protéger le poumon et de prévenir les complications pulmonaires postopératoires avant leur survenue. Plusieurs outils complémentaires sont à la disposition du médecin, telle la ventilation protectrice en per opératoire [3] ou la ventilation non invasive (VNI) [4] pour prévenir et traiter précocement l'atélectasie. L'oxygénothérapie nasale à haut débit (OHD) est une technique récente qui a de plus en plus sa place dans la prise en charge globale du patient chirurgical [5].

L'OHD est un dispositif qui fournit un gaz inspiratoire chauffé et humidifié par une canule nasale à des débits plus élevés que

l'oxygénothérapie conventionnelle (jusqu'à 70 L/min) [5]. Le gaz inspiratoire est un mélange air-oxygène dont la fraction inspirée en oxygène (FiO₂) peut varier de 21 % à 100 %. Son utilisation a été proposée en anesthésie et en médecine périopératoire dans de nombreuses situations [6]. Après un descriptif des effets physiologiques de l'OHD sont présentées dans ce texte les circonstances où est utilisée l'OHD : en per opératoire, pendant la procédure d'intubation (préoxygénation et/ou oxygénation apnéique) ou au cours de procédures lors d'une anesthésie générale sans intubation (chirurgies oro-pharyngées, endoscopies digestives), ainsi qu'en post opératoire, que ce soit de manière préventive avant la survenue d'une détresse respiratoire aiguë ou de manière curative en traitement d'une détresse respiratoire aiguë.

Effets physiologiques de l'oxygénothérapie nasale à haut débit (OHD)

De multiples effets physiologiques sont attribués à l'OHD et conditionnent les intérêts potentiels de cette technique en périopératoire. De manière générale, les effets physiologiques associés à l'OHD sont à l'origine d'une amélioration des échanges gazeux, d'une réduction de la dyspnée et du travail inspiratoire du patient ainsi que d'une amélioration du confort du patient [5].

Amélioration de l'oxygénation trachéale

Une étude a réalisé des mesures endotrachéales de FiO₂ et de pression dans les voies aériennes avec différentes techniques d'oxygénothérapie avec des débits élevés (15 à 45 L/min) [7] : le masque facial avec réservoir d'oxygène, les canules nasales Optiflow® et le masque facial étanche avec valve de Boussignac® [8]. Les résultats de cette première étude endotrachéale montrent que ces trois dispositifs permettent d'atteindre des FiO₂ endotrachéales élevées, de l'ordre de 90 % pour les canules nasales et le masque à haute concentration, et de l'ordre de 80 % pour le système Boussignac®.

« Effet PEP » (par augmentation des résistances expiratoires)

L'augmentation des résistances expiratoires au cours de l'utilisation de l'OHD peut s'expliquer par le débit constant généré par la canule nasale [9]. La même étude rapportée plus haut [7] a comparé la pression des voies aériennes selon l'utilisation du masque facial avec réservoir d'oxygène, des canules nasales Optiflow® et du masque facial étanche avec valve de Boussignac®. Les résultats montrent que seul le système Boussignac® permet de générer une pression dans les voies aériennes qui est positive durant l'ensemble du cycle ventilatoire, à l'expiration comme à l'inspiration. Si le masque d'oxygène à haute concentration fournit une pression nulle dans les voies aériennes, le système Optiflow® permet de générer une pression modeste, inférieure à 6 cmH₂O de pression expiratoire positive (PEP) et inférieure à 3 cmH₂O de pression moyenne, bouche fermée. L'ouverture de la bouche entraîne un effondrement de la PEP et de la pression moyenne avec des mesures médianes respectivement inférieures à 3 et à 1 cmH₂O [7]. Ainsi, si l'OHD augmente les résistances expiratoires, son « effet PEP » demeure très modeste et conditionné par l'occlusion buccale.

Effet lavage d'espace mort anatomique

Au début de l'inspiration, l'espace mort nasopharyngé contient les gaz télé-expiratoires. Cet espace mort contribue au réchauffement et à l'humidification optimal de l'air inspiré, mais réduit l'efficacité des échanges respiratoires [10]. En diminuant l'espace mort nasopharyngé par l'insufflation continue de gaz frais, l'OHD améliore la pression alvéolaire en oxygène. Dans une étude [11], il a été montré que l'OHD délivrée à 30 L/min éliminait le CO₂ contenu dans l'espace mort nasopharyngé.

Amélioration de la clairance muco-ciliaire

En oxygénothérapie conventionnelle, l'humidification optimale ne peut pas être atteinte par le seul travail des voies aériennes supérieures [12]. Le mauvais conditionnement des gaz inspiratoires en termes de réchauffement et d'humidification cause une dégradation de la qualité du transport muco-ciliaire [13]. L'OHD, en délivrant des gaz réchauffés à 37 °C et humidifiés, améliore la clairance muco-ciliaire [14].

Épargne énergétique due au conditionnement des gaz

Durant la respiration physiologique, l'air inspiré est réchauffé à 37 °C et humidifié à 100 % d'humidité relative [12]. Ce processus implique un coût énergétique estimé à 107,5 joules (26 cal) par litre d'air inspiré [15]. Le patient en détresse respiratoire aiguë a une ventilation minute souvent augmentée, responsable d'un coût métabolique non négligeable consacré au conditionnement des gaz. Cette énergie est économisée lors de l'utilisation d'OHD, où les gaz inspirés sont préconditionnés à 37 °C et humidifiés à 100 % d'humidité relative [15].

L'ensemble de ces effets physiologiques pris en compte permet d'expliquer que l'OHD soit associé avec l'amélioration de multiples paramètres respiratoires : réduction de l'effort du patient et de la ventilation minute nécessaire pour obtenir un taux physiologique de dioxyde de carbone artériel, augmentation du volume pulmonaire expiratoire, amélioration de la compliance dynamique, pression transpulmonaire positive et homogénéisation de la ventilation [6]. Ces conséquences sont à l'origine de l'utilisation de l'OHD en médecine périopératoire.

Utilisation pour la procédure d'intubation au bloc opératoire

La méthode la plus utilisée pour la préoxygénation avant induction anesthésique est celle de la ventilation spontanée au masque [16]. Elle nécessite de porter une attention particulière à quelques points essentiels. Premièrement, le clinicien doit s'assurer que le masque est approprié à la morphologie du patient. Deuxièmement, le débit de gaz frais doit être suffisamment élevé afin d'homogénéiser la ventilation pulmonaire et de réduire l'impact des fuites. Troisièmement, les fuites doivent être limitées, car elles altèrent l'efficacité de la préoxygénation. La fraction expirée en oxygène (EtO₂) est utilisée pour évaluer la pression alvéolaire en oxygène (PAO₂) et ainsi l'efficacité de la préoxygénation. L'objectif d'EtO₂ au cours de la préoxygénation est de 90 % [16,17].

L'OHD a été particulièrement étudiée pour cette indication. Lorsqu'elle est utilisée au bloc opératoire, l'OHD est souvent appelée « *Trans nasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange* (THRIVE) ».

Une étude physiologique [18] a été réalisée chez des volontaires sains associant une préoxygénation avec un masque relié au ballon d'oxygène et des canules nasales d'oxygène. L'objectif de l'étude était d'évaluer le débit nasal en oxygène optimal pour la préoxygénation et d'estimer la présence éventuelle de fuites sur le masque. L'utilisation, en plus du masque, de canules nasales à 0 L/min et à 5 L/min était associée à des niveaux d'EtO₂ significativement plus bas à tous les temps par rapport à l'utilisation de canules nasales à 10 L/min, 15 L/min, ou à l'utilisation du masque seul sans canules.

L'OHD paraît intéressante, notamment pour permettre « l'oxygénation apnéique », c'est-à-dire l'oxygénation alvéolaire

même après abolition de la ventilation spontanée. L'oxygénation apnéique est un phénomène physiologique où la différence entre les taux alvéolaires d'élimination de l'oxygène et d'excrétion du dioxyde de carbone génère un gradient de pression négative allant jusqu'à 20 cmH₂O. Ce gradient de pression négative permet l'entrée de l'oxygène dans les poumons, à condition qu'il existe une perméabilité des voies aériennes. Des études cliniques ont évalué l'effet de l'oxygénation apnéique, avec des résultats contradictoires [19]. Miguel-Montanes et al. [20] ont comparé l'oxygénation apnéique à l'aide de l'OHD à 60 L/min après préoxygénation au masque facial à oxygène chez des patients présentant une hypoxémie légère à modérée. Avec le masque facial à oxygène, la SpO₂ médiane la plus basse pendant l'intubation était significativement diminuée par rapport à l'OHD. Sakles et al. [21,22] ont également retrouvé une réduction de la désaturation en oxygène en utilisant l'oxygénation apnéique avant une intubation dans un service d'urgence. Cependant, Vourc'h et al. [23] n'ont trouvé aucune différence pour les valeurs minimales de SpO₂ pendant l'intubation chez les patients hypoxémiques comparant 60 L/min d'OHD et un masque facial à oxygène. De même, Semler et al. [24] ont constaté, dans un essai contrôlé randomisé, que l'administration d'oxygène par canule nasale de 15 L/min dans le groupe « oxygénation apnéique » n'était pas associée à des valeurs de SpO₂ minimales significativement accrues pendant les procédures d'intubation.

Les résultats contradictoires apparents de ces études peuvent s'expliquer en partie par des différences dans les types d'études, les paramètres de l'oxygénothérapie et les patients inclus : l'efficacité de l'oxygénation apnéique dépend de la FiO₂ délivrée, du débit d'oxygène, de la membrane alvéolo-capillaire et du degré d'hypoxémie des patients. L'utilisation de l'OHD combinée à la VNI peut présenter des avantages potentiels par rapport à la VNI seule pour la préoxygénation avant les procédures d'intubation chez les patients hypoxémiques. La technique de préoxygénation associant VNI et OHD, combinant respectivement les notions de prévention du dérecrutement alvéolaire et d'oxygénation apnéique, a été évaluée [25]. La saturation la plus basse au cours du processus d'intubation était significativement plus élevée en utilisant l'association de la VNI et OHD (méthode OPTINIV), par rapport à la VNI seule [25]. Une méta-analyse [26] a ensuite confirmé les effets positifs de l'oxygénation apnéiques chez les patients sévèrement hypoxémiques. La désaturation pendant l'intubation trachéale chez les patients sévèrement hypoxémiques était significativement plus faible lorsque l'oxygénation apnéique était utilisée. Dans le sous-groupe des patients en insuffisance respiratoire aiguë, il y avait une tendance non significative à une diminution de la désaturation per-intubation.

Au bloc opératoire également, l'oxygénation apnéique a été évaluée. Une première étude a examiné l'influence de l'apport nasal d'oxygène sur la durée du maintien d'une saturation

périphérique en oxygène (SpO₂) ≥ 95 % lors d'une simulation de laryngoscopie difficile chez les patients obèses [27]. L'administration nasale d'O₂ était associée à des augmentations significatives de la fréquence et de la durée de la SpO₂ ≥ 95 % et à une SpO₂ minimale plus élevée dans les laryngoscopies prolongées chez les patients obèses. Ces résultats ont été confirmés à travers un étude randomisée contrôlée comparant l'OHD et la préoxygénation au masque facial [28]. Cependant, aucune ventilation au masque n'était réalisée après l'induction dans le groupe masque facial.

Dans une autre étude [29], 33 patients morbides obèses subissant une chirurgie bariatrique laparoscopique ont été randomisés pour recevoir l'une des stratégies de préoxygénation suivantes pendant sept minutes : OHD, pression positive continue (*continuous positive airway pressure*, CPAP) ou insufflation d'oxygène via un masque facial standard [29]. Dans les 3 groupes, les valeurs de PaO₂ ont été significativement augmentées une à trois minutes après la préoxygénation. Les niveaux d'oxygénation maximaux ont été atteints après trois minutes de préoxygénation, sans augmentation significative par la suite. Le groupe standard avait un niveau de pression partielle d'oxygène artériel médian de 337 mmHg (295–390 mmHg), le groupe CPAP de 353 mmHg (293–419 mmHg) et le groupe HFNO de 380 mmHg (339–443 mmHg). Les résultats n'étaient pas significativement différents.

Une étude randomisée contrôlée [30], incluant 20 patients dans chaque groupe, a comparé la pré-oxygénation THRIVE à la pré-oxygénation au masque facial chez les patients subissant une intervention chirurgicale en urgence. Des gaz du sang artériel ont été prélevés à partir d'un cathéter artériel immédiatement après l'intubation, ne montrant aucune différence de PaO₂ moyenne, PaCO₂ ou pH. Cependant, l'étude n'était pas assez puissante pour mettre en évidence une différence dans les complications liées à l'intubation. Toujours dans le cadre de la chirurgie urgente, après une induction à séquence rapide, il a été montré [31] que sur 80 patients adultes, moins d'événements de désaturation ont été observés avec une préoxygénation THRIVE lors d'une induction en séquence rapide par rapport à la pré-oxygénation au masque facial. Une autre étude randomisée contrôlée [32] a évalué l'utilisation de l'OHD dans la pré-oxygénation et l'oxygénation apnéique chez les adultes qui ont été intubés après une induction en séquence standard. Cinquante patients ont été randomisés pour recevoir une pré-oxygénation via un masque standard ou le dispositif THRIVE. Après cinq minutes de pré-oxygénation, une induction et des relaxants musculaires ont été administrés. En attendant une paralysie complète, les patients du groupe masque standard ont reçu une ventilation au masque, tandis que les patients du groupe OHD ont reçu une oxygénation apnée via le dispositif THRIVE. Aucune complication n'a été observée dans les deux groupes. L'OHD a permis d'obtenir une PaO₂ plus élevée après la pré-oxygénation. Cependant, la baisse de PaO₂ et

l'augmentation de PaCO₂ indiquent que l'OHD n'était pas aussi efficace que la ventilation au masque pour maintenir l'oxygénation et la ventilation après curarisation. Une autre étude préliminaire [33] a mis en évidence des résultats similaires. Les patients du groupe contrôle étaient préoxygénés avec 100 % d'oxygène en utilisant un masque facial à un débit de 6 L/min pendant 3 min avec application d'une CPAP de 15 cmH₂O. Dans le groupe interventionnel, l'oxygène était administré en utilisant la méthode THRIVE à 30 L/min pendant 3 min. Pendant l'apnée, une ventilation était réalisée dans le groupe contrôle avec 10 L/min d'oxygène et une CPAP de 15 cmH₂O. La méthode THRIVE à 60 L/min était utilisée pendant l'apnée dans le groupe interventionnel. Les deux groupes ont toléré l'apnée pendant 12 min sans désaturation. La PaO₂ dans le groupe contrôle était significativement plus élevée que dans le groupe interventionnel de 3 min d'apnée à 12 min. La PaCO₂ était significativement plus faible dans le groupe contrôle à partir de 6 min. Le pH était comparable dans les deux groupes, sauf à 12 min, le groupe interventionnel ayant un pH significativement plus bas. L'application de la méthode THRIVE ne doit donc pas se substituer à la ventilation au masque lorsque celle-ci est réalisable.

Concernant la préoxygénation des femmes enceintes, une étude prospective [34] a évalué un protocole d'OHD de 3 min (30 L/min pendant 30 s, puis 50 L/min pendant 150 s) pour la préoxygénation. L'EtO₂ a été évaluée durant les quatre premiers cycles respiratoires après l'intubation. Il a été constaté que la proportion de patients ayant une EtO₂ ≥ 90 % était de 60 % [intervalle de confiance (IC) à 95 % : 54–66 %] et celle ayant une EtO₂ ≥ 80 % était de 84 % (IC à 95 % : 80–88 %). Ce protocole d'OHD était donc insuffisant pour préoxygéner les femmes enceintes à terme.

Une étude physiologique [35] sur patients sains a fourni des résultats importants, puisque lorsque l'OHD était utilisée comme une méthode de préoxygénation, les niveaux d'EtO₂ demeuraient plus bas que la préoxygénation au masque relié à un ballon [35]. Par conséquent, il semble que cette méthode ne puisse pas remplacer la préoxygénation au masque facial étanche « au ballon » (masque à valve). De même, elle ne peut pas remplacer la ventilation par masque à valve, qui permet une meilleure ventilation du patient que l'administration d'oxygène seul. Cependant, il pourrait être un complément intéressant pour l'oxygénation apnéique après la fin de la préoxygénation. Cette méthode a été testée avec succès en unité de réanimation [25]. D'autres études sont nécessaires au bloc opératoire.

Le [tableau 1](#) regroupe les données des principales études effectuées sur le sujet.

Pour les procédures sans intubation au bloc opératoire

Pour les procédures sous anesthésie générale sans intubation, notamment pour les chirurgies oropharyngées, les endoscopies

digestives ou l'électroconvulsivothérapie, l'OHD a également été étudiée.

Dans le cadre de la chirurgie oropharyngée, une étude observationnelle prospective [36] a évalué le temps d'apnée de 25 patients présentant une intubation prévue difficile et admis pour une anesthésie générale pour une chirurgie hypopharyngée ou laryngotrachéale. L'OHD était administrée en continu, depuis la préoxygénation, pour l'induction intraveineuse de l'anesthésie et la curarisation, jusqu'à ce que la sécurité des voies aériennes soit assurée. Le temps d'apnée commençait lors de l'administration des curares et se terminait avec le début de la ventilation ou la reprise de la ventilation spontanée. Pendant ce temps, la perméabilité des voies aériennes supérieures était assurée par la luxation de la mâchoire. Vingt-cinq patients ont été inclus, dont 12 patients obèses. Le temps d'apnée médian était de 14 (5–65) minutes. Aucune désaturation artérielle en oxygène n'a été observée pendant la période d'apnée.

Chez trois patients ayant eu une chirurgie du larynx et de la trachée dans des conditions apnéiques utilisant la méthode THRIVE, des niveaux de CO₂ transcutanés ont été enregistrés tout au long de la période apnéique pour détecter les taux d'augmentation du CO₂ [37]. La gestion conventionnelle des voies respiratoires a été initiée après 15 min d'apnée avec intubation trachéale ou ventilation à haute fréquence. Aucun patient n'a présenté de désaturation en oxygène < 97 %. Le taux moyen d'augmentation transcutanée de CO₂ (1,7 mmHg/min) était élevé.

Dans une étude physiologique évaluant l'oxygénation apnéique par la méthode THRIVE lors d'une chirurgie laryngée [38], il a été démontré que cette technique est capable d'assurer une bonne oxygénation chez les patients ASA 2 ayant un indice de masse corporelle (IMC) < 30 pendant une période pouvant aller jusqu'à 30 min. La SpO₂ n'est jamais descendue en dessous de 91 %. L'augmentation de PaCO₂ et de CO₂ en fin d'expiration pendant l'apnée était respectivement de 1,8 et 0,9 mmHg/min. Le concept THRIVE permet d'étendre la fenêtre apnéique mais une surveillance du CO₂ et/ou du pH est recommandée. De plus, en cas de trachéotomie chirurgicale en urgence, en cas de stridor par exemple, l'OHD pourrait également aider à maintenir l'oxygénation [39].

Il convient de noter qu'un cas d'embrassement suite à l'utilisation d'une diathermie au cours de l'administration d'oxygène via le dispositif THRIVE a été signalé [40]. Ce cas met en évidence le risque d'embrassement lors de l'électrochirurgie (utilisation d'un laser ou d'une diathermie). Cela devient une contre-indication absolue en cas d'utilisation de FiO₂ > 30 %. De façon plus générale, trois éléments sont nécessaires pour allumer un feu et peuvent être présents de façon concomitante au bloc opératoire : de l'oxygène, du carburant (draps, fournitures patient, solutions hydroalcooliques, champs opératoires) et une source d'allumage (raccord des câbles, éclairage à fibre

TABLEAU I

Principales études concernant l'OHD pour l'induction anesthésique

| Étude (référence) | Type d'étude | Population étudiée | OHD | Ventilation des témoins | Principaux résultats |
|---|---------------------|--|--|------------------------------------|--|
| Préoxygénation au bloc opératoire | | | | | |
| McQuade 2018 [18] | ECR en crossover | Volontaires sains | Masque + OHD 0 à 15 L/min | Masque | Pas de différence d'EtO2 entre masque seul et OHD 10-15 L EtO2 inférieure si OHD 0-5 L |
| Oxygénation apnéique en réanimation-urgences | | | | | |
| Miguel-Montanes 2015 [20] | Cohorte avant-après | Tout patient de réanimation | OHD | Masque | SpO2 minimale médiane supérieure dans le groupe OHD (100 % vs 94 %) |
| Sakles 2016 [21] | Cohorte prospective | AVC hémorragique | OHD | Masque | Moins de désaturation avec l'OHD (7 % vs 29 %) |
| Sakles 2016 [22] | Cohorte prospective | Service d'urgence | OHD | Masque | Plus de succès d'intubation au premier essai sans désaturation avec OHD (82 % vs 69 %) |
| Vourch 2015 [23] | ECR | Patient hypoxémique | OHD | Masque | Pas de différence de médianes de SpO2 minimale |
| Semler 2016 [24] | ECR | Tout patient de réanimation | Masque + OHD 15 L/min | Masque | Pas de différence de médianes de SpO2 minimale |
| Jaber 2016 [25] | ECR | Patient en détresse respiratoire aiguë | OHD 60 L/min + VNI | VNI | SpO2 minimale médiane supérieure dans le groupe OHD (100 % vs 96 %) |
| Oxygénation apnéique au bloc opératoire | | | | | |
| Wong 2019 [28] | ECR | Patient obèse | OHD 40 L/min | Masque | Temps d'apnée sans désaturation plus long avec OHD (261 s vs 186 s) |
| Heinrich 2014 [29] | ECR | Patient obèse | OHD | Masque ou CPAP | Pas de différence de PaO2 à 3 min |
| Mir 2017 [30] | ECR | Chirurgie urgente (ISR) | OHD | Masque | Pas de différence de PaO2 après intubation, aucune désaturation |
| Lodenus 2018 [31] | ECR | Chirurgie urgente (ISR) | OHD | Masque | Pas de différence SpO2 minimale médiane (99 % vs 99 %) Moins de désaturations < 93 % dans le groupe OHD (0 % vs 12,5 %) |
| Ng 2018 [32] | ECR | Neurochirurgie programmée | OHD | Masque (avec ventilation manuelle) | PaCO2 médiane après curarisation plus élevée dans le groupe OHD (52 vs 43 mmHg) |
| Joseph 2018 [33] | ECR | Chirurgie programmée | OHD 30 L/min puis 60 L/min | Masque + CPAP 15 cmH2O | Aucune désaturation à 12 minutes dans les 2 groupes PaO2 supérieure et PaCO2 inférieure dans le groupe masque + CPAP. pH à 12 min inférieur dans le groupe OHD |
| Tan 2019 [34] | Cohorte prospective | Femmes enceintes à terme | OHD 30 L/min pendant 30 s puis 50 L/min pendant 150 s | Pas de groupe contrôle | 60 % d'EtO2 > 90 % à la fin du protocole 84 % d'EtO2 > 80 % à la fin du protocole |

OHD : oxygénothérapie à haut débit ; ECR : essai contrôlé randomisé ; EtO2 : fraction expirée en oxygène ; SpO2 : saturation périphérique en oxygène ; CPAP : *continuous positive airway pressure* (pression positive continue) ; PaCO2 : pression artérielle en dioxyde de carbone ; PaO2 : pression artérielle en oxygène.

optique, électrocautérisation, électrochirurgie, laser). La prudence est de mise afin d'éviter tout embrasement. Des études sont en cours sur l'intérêt d'utiliser l'OHD plutôt que l'oxygénothérapie conventionnelle par lunettes nasales dans les procédures d'endoscopie, en particulier digestives [41]. Dans une étude multicentrique prospective randomisée en simple aveugle [42], 1994 patients en ambulatoire subissant une gastroscopie de routine avec une sédation au propofol ont été randomisés en deux groupes : le groupe oxygène nasal et le groupe OHD à un débit de 30 à 60 L/minute. L'OHD a permis de réduire l'incidence de l'hypoxémie ($75 \% \leq SpO_2 < 90 \%$ pendant < 60 s) et de l'hypoxémie sévère ($SpO_2 < 75 \%$ pour toute durée ou $75 \% \leq SpO_2 < 90 \%$ pendant ≥ 60 s) de 8,4 % à 0 % ($p < 0,001$) et de 0,6 % à 0 % ($p = 0,03$), respectivement. Le seul événement indésirable lié à l'OHD était la sécheresse/rhinalgie (1,7 %), qui a été observée 1 min après la procédure et a disparu après 30 min. Une étude a également été réalisée incluant des patients obèses morbides admis pour coloscopie [43]. Les patients étaient randomisés pour recevoir de l'OHD pendant la sédation au propofol pour la coloscopie, avec des débits maximaux de 60 L/min et une FiO_2 de 36 %-40 %, tandis que de l'oxygénothérapie conventionnelle par lunettes nasales était administrée à 4 L/min dans le groupe contrôle. Une analyse intermédiaire a montré que les taux de désaturation dans le groupe OHD (39,3 %) et le groupe contrôle (45,2 %) n'étaient pas significativement différents ($p = 0,79$). L'étude a été interrompue précocement pour futilité. Un domaine d'application prometteur de l'OHD est la gestion de l'anesthésie générale au cours de l'électroconvulsivothérapie. L'oxygénation est généralement difficile après l'induction des convulsions et se fait à l'aide d'un simple masque facial ou d'une canule nasale à faible débit. Dans une étude de faisabilité monocentrique [44], 13 patients atteints d'un trouble dépressif résistant à la pharmacothérapie ont reçu 20 séances d'électroconvulsivothérapie avec l'utilisation de la méthode THRIVE, sans aucune désaturation.

Néanmoins, la majorité des études étaient de petite taille et leur puissance était insuffisante pour détecter des événements respiratoires ou d'autres complications rares. Une oxygénation apnéique prolongée peut être néfaste chez les patients présentant des comorbidités, telles qu'une augmentation de la pression intracrânienne, une acidose métabolique, une hyperkaliémie et une hypertension pulmonaire. Le **tableau II** résume les avantages et les inconvénients de la méthode THRIVE pendant les procédures sans intubation. Le **tableau III** regroupe les données des principales études effectuées sur le sujet.

En postopératoire préventif

L'OHD est de plus en plus utilisée comme alternative à l'oxygénothérapie conventionnelle en postopératoire [45], et ce avant même la survenue de détresse respiratoire aiguë.

Chez 220 patients présentant un risque modéré à élevé de complications pulmonaires postopératoires après une chirurgie abdominale majeure, l'application préventive précoce d'OHD après extubation n'a pas montré de différence de survenue d'hypoxémie par rapport à l'oxygénothérapie standard [46]. Les auteurs concluaient à une absence de supériorité de l'OHD par rapport à l'oxygénothérapie conventionnelle chez le patient non hypoxémique, en postopératoire de chirurgie abdominale majeure.

Dans l'étude de Stephan et al. [47], réalisée chez 830 patients en postopératoire de chirurgie thoracique (en prévention ou en traitement de l'insuffisance respiratoire aiguë), l'OHD n'était pas inférieure à la VNI pour réduire un critère composite incluant la nécessité de réintubation à 72 h ou de changement de méthode d'oxygénothérapie. L'étude de Hernandez et al. [48], s'intéressant aux patients de réanimation à haut risque d'échec d'extubation (dont 40 % des patients en postopératoire), a montré que l'OHD préventive n'était pas inférieure à la VNI préventive en ce qui concerne le taux de réintubation et de détresse respiratoire aiguë post-extubation.

TABLEAU II

Avantages et inconvénients de l'OHD au bloc opératoire (THRIVE)

| Avantages | Inconvénients |
|---|---|
| Haut débit d'oxygène humidifié et réchauffé : pourrait améliorer la sécurité des procédures | Inconfort associé au haut débit |
| Oxygénation apnéique | Augmentation du CO_2 durant l'apnée Acidose majeure durant l'apnée Ne remplace pas la ventilation au masque |
| Ne gêne pas la chirurgie oropharyngée | Risque d'embrasement en cas d'électrochirurgie (laser, diathermie) |
| Évite de devoir appliquer un masque pour l'oxygénation | Moindre EtO_2 comparé au masque pour la préoxygénation |

EtO_2 : Fraction expirée en dioxygène ; CO_2 : dioxyde de carbone.

TABLEAU III

Principales études concernant l'OHD pour les procédures sans intubation

| Étude (référence) | Type d'étude | Population étudiée | OHD | Ventilation des témoins | Principaux résultats |
|----------------------------------|------------------------------------|--|--|------------------------------|--|
| Chirurgie oropharyngée | | | | | |
| Patel 2015 [36] | Cohorte prospective | Intubation difficile prévue | OHD 70 L/min | Pas de groupe contrôle | Temps d'apnée médian 14 min [IQR 5–65 min] Pas de désaturation |
| Gustafsson 2017 [38] | Cohorte prospective | Chirurgie laryngée, patients ASA I ou II | OHD 40–70 L/min | Pas de groupe contrôle | Pas de désaturation Augmentation de la PaCO ₂ de 1,8 mmHg/min d'apnée |
| Endoscopie digestive | | | | | |
| Lin 2019 [42] | ECR | Tout patient | OHD 30 à 60 L/min | O ₂ nasal 2 L/min | Moins de désaturations et d'hypoxémie sévère dans le groupe OHD (0 % vs 8,4 % et 0 % vs 0,6 %) |
| Riccio 2019 [43] | ECR | Patient obèse admis pour coloscopie | OHD 60 L/min, FiO ₂ 36 à 40 % | O ₂ nasal 4 L/min | Pas de différence significative de taux de désaturation (39 % vs 45 %) |
| Electroconvulsivothérapie | | | | | |
| Jonker 2018 [44] | Cohorte prospective de faisabilité | Dépression pharmacorésistante | OHD | Pas de groupe contrôle | Pas de désaturation |

Au total, les recommandations européennes de 2020 de l'ESA et l'ESICM sur l'assistance respiratoire non invasive du patient hypoxémique en périopératoire préconisent l'utilisation de l'OHD en cas d'intolérance à la VNI ou à la CPAP, chez le patient hypoxémique [49].

En postopératoire curatif

L'insuffisance respiratoire aiguë (IRA) est une cause majeure de morbidité et de mortalité chez les patients de réanimation [50]. L'amélioration de l'oxygénation et de la ventilation chez ces patients nécessite généralement l'intubation trachéale et la ventilation mécanique invasive. Cependant, l'intubation trachéale pour IRA est associée à une mortalité élevée et à un coût accru, avec des durées de séjour en réanimation et à l'hôpital allongées [50–52]. L'augmentation de la mortalité résulte des complications liées à l'intubation [53–56] et à la ventilation mécanique invasive, incluant les lésions induites par la ventilation invasive, les pneumonies associées à la ventilation mécanique, d'autres infections associées aux soins [55–58], et des complications non infectieuses de la ventilation mécanique invasive (barotraumatisme, neuromyopathie de réanimation). Ainsi, les stratégies visant à éviter l'intubation et la ventilation

mécanique invasive pourraient se traduire par une meilleure survie [59]. Ces méthodes peuvent inclure l'oxygénothérapie conventionnelle, la VNI, et plus récemment l'OHD. La méthode d'oxygénation standard est l'oxygénation conventionnelle, permettant de corriger une hypoxémie. Elle est généralement administrée par un masque Venturi. La VNI peut également être utilisée pour oxygéner un patient en IRA. Mais par rapport à l'oxygénothérapie conventionnelle, la VNI permet de corriger la perte de volume pulmonaire grâce à l'application conjointe d'une PEP (qui augmente le volume pulmonaire télé-expiratoire) et d'une aide inspiratoire (AI). L'utilisation de la VNI augmente la ventilation pulmonaire, recrute les alvéoles atelectasiées et améliore les échanges gazeux [60]. La réduction de l'atelectasie par la VNI pourrait aussi ralentir la croissance bactérienne, et donc la translocation bactérienne depuis le poumon vers le sang [61]. La diminution de l'intubation trachéale est cependant probablement la principale raison expliquant la diminution de la survenue de pneumonie chez les patients traités par VNI [62]. De plus, la VNI a montré une diminution globale de la survenue d'infections nosocomiales, notamment grâce à une diminution du nombre et de la durée d'utilisation des dispositifs invasifs, tels les cathéters intraveineux ou les sondes urinaires

[62]. L'intérêt de la VNI a d'abord été rapporté dans des détresses respiratoires aiguës d'origine médicale, telles l'exacerbation hypercapnique de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) [63] et l'œdème aigu du poumon cardiogénique [64]. La détresse respiratoire aiguë postopératoire est multifactorielle, et principalement associée à l'atélectasie causée par l'hypoventilation, la rétention de sécrétions muqueuses et la dysfonction diaphragmatique [65–67]. Le potentiel de recrutement alvéolaire est donc plus important avec la VNI qu'avec l'oxygénothérapie conventionnelle [60,68]. L'étude NIVAS [69] de Jaber et al. s'est intéressée au traitement de la détresse respiratoire aiguë postopératoire après une chirurgie abdominale majeure, et a montré une réduction du taux d'intubation en comparaison de l'oxygénothérapie conventionnelle, et même une diminution de la mortalité dans le sous-groupe des patients BPCO.

Depuis ces données, la VNI est le support ventilatoire de référence en cas de survenue d'une détresse respiratoire aiguë hypoxémique postopératoire, et le reste dans les dernières recommandations [49].

La place de l'OHD dans le traitement de la détresse respiratoire aiguë postopératoire est incertaine à ce jour. Chez les patients médicaux atteints d'une détresse respiratoire aiguë hypoxémique, l'étude FLORALI [70] n'a pas montré de différence entre la VNI, l'OHD et l'oxygénothérapie conventionnelle en termes de taux de réintubation. Cependant, les patients du groupe OHD présentaient une mortalité diminuée et un nombre de jours sans ventilation mécanique plus élevé que les deux autres groupes. Par ailleurs, des données récentes de l'étude observationnelle internationale LUNG SAFE suggèrent que les patients atteints d'un syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) traités par VNI ont des taux élevés d'intubation et de mortalité [71]. Chez les patients immunodéprimés enfin, alors que la VNI était associée à une diminution des taux d'intubation et de mortalité dans les années 1990 par rapport à l'oxygénothérapie conventionnelle [72], l'étude iVNIctus [73] ne montrait plus de différence à l'époque actuelle. L'étude HIGH [74], incluant 776 patients, n'a pas montré de différence de mortalité à 28 jours en comparant OHD et oxygénothérapie conventionnelle chez les patients immunodéprimés.

En postopératoire, la seule étude multicentrique avec large effectif ayant randomisé des patients en détresse respiratoire aiguë est l'étude de Stéphan et al. [47], incluant des patients en post opératoire de chirurgie cardiaque. Dans cette étude, l'OHD n'était pas inférieure à la VNI pour prévenir un critère composite incluant la nécessité de réintubation à 72 h ou de changement de méthode d'oxygénothérapie. Les dernières

recommandations européennes [49] préconisent de considérer l'utilisation de l'OHD avant la VNI dans le traitement de la détresse respiratoire aiguë en post opératoire de chirurgie cardiaque.

Pour la période postopératoire des chirurgies non cardiaques, la place de l'OHD reste à définir [75].

Conclusion

L'OHD est une technique récente permettant d'administrer un débit élevé d'oxygène, et est associée à de multiples effets physiologiques intéressants : une amélioration de l'oxygénation endotrachéale, une augmentation des résistances expiratoires (« effet PEP », à condition que le patient ait la bouche fermée durant le traitement), un lavage de l'espace mort nasopharyngé et une amélioration de la clairance muco-ciliaire. Il en résulte notamment une amélioration de l'oxygénation, une réduction de la dyspnée et une amélioration du confort du patient. Les niveaux de pression générés avec l'OHD ne sont cependant pas comparables avec ceux générés par une VNI ou une CPAP, qui sont les seuls dispositifs non invasifs à fournir une pression positive tout au long du cycle respiratoire. L'utilisation de l'OHD a été et reste largement étudiée en médecine périopératoire.

Au bloc opératoire, l'OHD peut permettre une oxygénation apnéique du patient durant la phase d'intubation, notamment s'il est à risque d'hypoxémie (*tableau II*). Elle ne remplace pas le masque pendant la préoxygénation, mais peut s'y associer. Pour certaines procédures sans intubation, comme les chirurgies oropharyngées, les endoscopies digestives ou l'électroconvulsivothérapie, l'OHD permet d'allonger considérablement la tolérance de l'apnée, mais nécessite une surveillance étroite du CO₂ expiré (*tableau III*).

En postopératoire, l'OHD a été étudié pour la prévention de la détresse respiratoire aiguë. Les recommandations les plus récentes préconisent l'OHD préventive chez le patient postopératoire hypoxémique en cas de mauvaise tolérance de la VNI ou de la CPAP. Pour le traitement curatif de la détresse respiratoire aiguë postopératoire, la VNI est à l'heure actuelle le support ventilatoire de référence. L'OHD peut être considérée avant la VNI pour le traitement curatif de la détresse respiratoire aiguë des patients en post opératoire de chirurgie cardiaque. D'autres études sont nécessaires pour définir la place de l'OHD dans le traitement curatif de la détresse respiratoire aiguë chez les autres catégories de patients chirurgicaux.

Déclaration de liens d'intérêts : Pr Jaber déclare des paiements en qualité de consultant de Dräger, Medtronic, Baxter, Fresenius-Xenios et Fisher & Paykel. Les autres auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Neto AS, da Costa LGV, Hemmes SNT, Canet J, Hedenstierna G, Jaber S, et al. The LAS VEGAS risk score for prediction of postoperative pulmonary complications: An observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2018;35(9):691-701.
- [2] Russotto V, Sabaté S, Canet J. Development of a prediction model for postoperative pneumonia: A multicentre prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2019;36(2):93-104.
- [3] Futier E, Constantin JM, Paugam-Burtz C, Pascal J, Eurin M, Neuschwander A, et al. A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *N Engl J Med* 2013;369(5):428-37.
- [4] Pépin JL, Timsit JF, Tamisier R, Borel JC, Lévy P, Jaber S. Prevention and care of respiratory failure in obese patients. *Lancet Respir Med* 2016;4(5):407-18.
- [5] Spoletini G, Alotaibi M, Blasi F, Hill NS. Heated Humidified High-Flow Nasal Oxygen in Adults: Mechanisms of Action and Clinical Implications. *Chest* 2015;148(1):253-61.
- [6] Mauri T, Turrini C, Eronia N, Grasselli G, Volta CA, Bellani G, et al. Physiologic Effects of High-Flow Nasal Cannula in Acute Hypoxemic Respiratory Failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2017;195(9):1207-15.
- [7] Chanques G, Riboulet F, Molinari N, Carr J, Jung B, Prades A, et al. Comparison of three high flow oxygen therapy delivery devices: a clinical physiological cross-over study. *Minerva Anesthesiol* 2013;79(12):1344-55.
- [8] Chanques G, Riboulet F, Molinari N, Carr J, Jung B, Prades A, et al. Fraction of mask pressure transmitted to the trachea using the Boussignac's CPAP facemask. *Minerva Anesthesiol* 2014;80(3):397.
- [9] Parke R, McGuinness S, Eccleston M. Nasal high-flow therapy delivers low level positive airway pressure. *Br J Anaesth* 2009;103(6):886-90.
- [10] Cortegiani A, Accurso G, Mercadante S, Giarratano A, Gregoretti C. High flow nasal therapy in perioperative medicine: from operating room to general ward. *BMC Anesthesiol* 2018;18(1):166.
- [11] Moller W, Celik G, Feng S, Bartenstein P, Meyer G, Oliver E, et al. Nasal high flow clears anatomical dead space in upper airway models. *J Appl Physiol* 2015;118(12):1525-32.
- [12] Chanques G, Constantin JM, Sauter M, Jung B, Sebbane M, Verzilli D, et al. Discomfort associated with underhumidified high-flow oxygen therapy in critically ill patients. *Intensive Care Med* 2009;35(6):996-1003.
- [13] Salah B, Dinh Xuan AT, Fouilladieu JL, Lockhart A, Regnard J. Nasal mucociliary transport in healthy subjects is slower when breathing dry air. *Eur Respir J* 1988;1(9):852-5.
- [14] Kilgour E, Rankin N, Ryan S, Pack R. Mucociliary function deteriorates in the clinical range of inspired air temperature and humidity. *Intensive Care Med* 2004;30(7):1491-4.
- [15] Dysart K, Miller TL, Wolfson MR, Shaffer TH. Research in high flow therapy: mechanisms of action. *Respir Med* 2009;103(10):1400-5.
- [16] De Jong A, Futier E, Millot A, Coisel Y, Jung B, Chanques G, et al. How to preoxygenate in operative room: Healthy subjects and situations "at risk". *Ann Fr Anesth Reanim* 2014;33(7-8):457-61.
- [17] De Jong A, Jung B, Jaber S. Intubation in the ICU: we could improve our practice. *Crit Care* 2014;18(2):209.
- [18] McQuade D, Miller MR, Hayes-Bradley C. Addition of Nasal Cannula Can Either Impair or Enhance Preoxygenation With a Bag Valve Mask: A Randomized Crossover Design Study Comparing Oxygen Flow Rates. *Anesth Analg* 2018;126(4):1214-8.
- [19] De Jong A, Jaber S. Apneic Oxygenation for Intubation in the Critically Ill. Let's Not Give Up! *Am J Respir Crit Care Med* 2016;193(3):230-2.
- [20] Miguel-Montanes R, Hajage D, Messika J, Bertrand F, Gaudry S, Rafat C, et al. Use of high-flow nasal cannula oxygen therapy to prevent desaturation during tracheal intubation of intensive care patients with mild-to-moderate hypoxemia. *Crit Care Med* 2015;43(3):574-83.
- [21] Sakles JC, Mosier JM, Patanwala AE, Dicken JM. Apneic oxygenation is associated with a reduction in the incidence of hypoxemia during the RSI of patients with intracranial hemorrhage in the emergency department. *Intern Emerg Med* 2016;11(7):983-92.
- [22] Sakles JC, Mosier JM, Patanwala AE, Arcaris B, Dicken JM, Sakles JC, et al. First Pass Success Without Hypoxemia Is Increased With the Use of Apneic Oxygenation During Rapid Sequence Intubation in the Emergency Department. *Acad Emerg Med* 2016;23(6):703-10.
- [23] Vourch M, Asfar P, Volteau C, Bachouras K, Clavieras N, Egretou PY, et al. High-flow nasal cannula oxygen during endotracheal intubation in hypoxemic patients: a randomized controlled clinical trial. *Intensive Care Med* 2015;41(9):1538-48.
- [24] Semler MW, Janz DR, Lentz RJ, Matthews DT, Norman BC, Assad TR, et al. Randomized Trial of Apneic Oxygenation during Endotracheal Intubation of the Critically Ill. *Am J Respir Crit Care Med* 2016;193(3):273-80.
- [25] Jaber S, Monnin M, Girard M, Conseil M, Cisse M, Carr J, et al. Apneic oxygenation via high-flow nasal cannula oxygen combined with non-invasive ventilation preoxygenation for intubation in hypoxaemic patients in the intensive care unit: the single-centre, blinded, randomised controlled OPTINIV trial. *Intensive Care Med* 2016;42(12):1877-87.
- [26] Holyoak RS, Melhuish TM, Vlok R, Binks M, White LD. Intubation using apnoeic oxygenation to prevent desaturation: A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care* 2017;41:42-8.
- [27] Ramachandran SK, Cosnowski A, Shanks A, Turner CR. Apneic oxygenation during prolonged laryngoscopy in obese patients: a randomized, controlled trial of nasal oxygen administration. *J Clin Anesth* 2010;22(3):164-8.
- [28] Wong DT, Dallaire A, Singh KP, Madhusudan P, Jackson T, Singh M, et al. High-Flow Nasal Oxygen Improves Safe Apnea Time in Morbidly Obese Patients Undergoing General Anesthesia: A Randomized Controlled Trial. *Anesth Analg* 2019;129(4):1130-6.
- [29] Heinrich S, Horbach T, Stubner B, Prottengeier J, Irouschek A, Schmidt J. Benefits of Heated and Humidified High Flow Nasal Oxygen for Preoxygenation in Morbidly Obese Patients Undergoing Bariatric Surgery: A Randomized Controlled Study. *J Obes Bariatrics* 2014;1(1):7.
- [30] Mir F, Patel A, Iqbal R, Cecconi M, Nouraei SA. A randomised controlled trial comparing transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange (THRIVE) pre-oxygenation with facemask pre-oxygenation in patients undergoing rapid sequence induction of anaesthesia. *Anaesthesia* 2017;72(4):439-43.
- [31] Lodenius A, Piehl J, Ostlund A, Ullman J, Jonsson Fagerlund M. Transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange (THRIVE) vs. facemask breathing pre-oxygenation for rapid sequence induction in adults: a prospective randomised non-blinded clinical trial. *Anaesthesia* 2018;73(5):564-71.
- [32] Ng I, Krieser R, Mezzavia P, Lee K, Tseng C, Douglas N, et al. The use of Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) for pre-oxygenation in neurosurgical patients: a randomised controlled trial. *Anaesth Intensive Care* 2018;46(4):360-7.
- [33] Joseph N, Rajan S, Tosh P, Kadapamannil D, Kumar L. Comparison of Arterial Oxygenation and Acid-Base Balance with the use of Transnasal Humidified Rapid-insufflation Ventilatory Exchange versus Tidal Volume Breathing with Continuous Positive Airway Pressure for Preoxygenation and Apneic Ventilation. *Anesth Essays Res* 2018;12(1):246-50.
- [34] Tan PCF, Millay OJ, Leeton L, Dennis AT. High-flow humidified nasal preoxygenation in pregnant women: a prospective observational study. *Br J Anaesth* 2019;122(1):86-91.
- [35] Hanouz J-L, Lhermitte D, Gerard J-L, Fischer MO. Comparison of pre-oxygenation using

- spontaneous breathing through face mask and high-flow nasal oxygen: A prospective randomised crossover controlled study in healthy volunteers. *Eur J Anaesthesiol* 2019;36(5):335-41.
- [36] Patel A, Nouraei SA. Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE): a physiological method of increasing apnoea time in patients with difficult airways. *Anaesthesia* 2015;70(3):323-9.
- [37] Ebeling CG, Riccio CA. Apneic Oxygenation With High-Flow Nasal Cannula and Transcutaneous Carbon Dioxide Monitoring During Airway Surgery: A Case Series. *A A Pract* 2019;12(10):366-8.
- [38] Gustafsson IM, Lodenius A, Tunelli J, Ullman J, Jonsson Fagerlund M. Apnoeic oxygenation in adults under general anaesthesia using Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) - a physiological study. *Br J Anaesth* 2017;118(4):610-7.
- [39] Ffrench-O'Carroll R, Fitzpatrick K, Jonker WR, Choo M, Tujjar O. Maintaining oxygenation with high-flow nasal cannula during emergent awake surgical tracheostomy. *Br J Anaesth* 2017;118(6):954-5.
- [40] Onwochei D, El-Boghdady K, Oakley R, Ahmad I. Intra-oral ignition of monopolar diathermy during transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange (THRIVE). *Anaesthesia* 2017;72(6):781-3.
- [41] Eugene A, Fromont L, Auvet A, Baert O, Mfam WS, Remerand F, et al. High-flow nasal oxygenation versus standard oxygenation for gastrointestinal endoscopy with sedation. The prospective multicentre randomised controlled ODEPHI study protocol *BMJ open* 2020;10(2):e034701.
- [42] Lin Y, Zhang X, Li L, Wei M, Zhao B, Wang X, et al. High-flow nasal cannula oxygen therapy and hypoxia during gastroscopy with propofol sedation: a randomized multicenter clinical trial. *Gastrointest Endosc* 2019;90(4):591-601.
- [43] Riccio CA, Sarmiento S, Minhajuddin A, Nasir D, Fox AA. High-flow versus standard nasal cannula in morbidly obese patients during colonoscopy: A prospective, randomized clinical trial. *J Clin Anesth* 2019;54:19-24.
- [44] Jonker Y, Rutten DJ, van Exel ER, Stek ML, de Bruin PE, Huitink JM. Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange During Electroconvulsive Therapy: A Feasibility Study. *J ECT* 2018.
- [45] Papazian L, Corley A, Hess D, Fraser JF, Frat JP, Guitton C, et al. Use of high-flow nasal cannula oxygenation in ICU adults: a narrative review. *Intensive Care Med* 2016;42(9):1336-49.
- [46] Futier E, Paugam-Burtz C, Godet T, Khoy-Ear L, Rozenccwaig S, Delay JM, et al. Effect of early postextubation high-flow nasal cannula vs conventional oxygen therapy on hypoxaemia in patients after major abdominal surgery: a French multicentre randomised controlled trial (OPERA). *Intensive Care Med* 2016;42(12):1888-98.
- [47] Stephan F, Barrucand B, Petit P, Rezaiguia-Delclaux S, Medard A, Delannoy B, et al. High-Flow Nasal Oxygen vs Noninvasive Positive Airway Pressure in Hypoxemic Patients After Cardiothoracic Surgery: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2015;313(23):2331-9.
- [48] Hernandez G, Vaquero C, Colinas L, Cuenca R, Gonzalez P, Canabal A, et al. Effect of Post-extubation High-Flow Nasal Cannula vs Non-invasive Ventilation on Reintubation and Postextubation Respiratory Failure in High-Risk Patients: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2016;316(15):1565-74.
- [49] Leone M, Einav S, Chiumello D, Constantin JM, De Robertis E, De Abreu MG, et al. Noninvasive respiratory support in the hypoxaemic peri-operative/periprocedural patient: a joint ESA/ESICM guideline. *Intensive Care Med* 2020;46(4):697-713.
- [50] Serpa Neto A, Hemmes SN, Barbas CS, Beiderlinden M, Fernandez-Bustamante A, Futier E, et al. Incidence of mortality and morbidity related to postoperative lung injury in patients who have undergone abdominal or thoracic surgery: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Respir Med* 2014;2(12):1007-15.
- [51] Pearse RM, Moreno RP, Bauer P, Pelosi P, Metnitz P, Spies C, et al. Mortality after surgery in Europe: a 7 day cohort study. *Lancet* 2012;380(9847):1059-65.
- [52] Kelly CR, Higgins AR, Chandra S. Videos in clinical medicine. Noninvasive positive-pressure ventilation *N Engl J Med* 2015;372(23):e30.
- [53] De Jong A, Rolle A, Molinari N, Paugam-Burtz C, Constantin JM, Lefrant JY, et al. Cardiac Arrest and Mortality Related to Intubation Procedure in Critically Ill Adult Patients: A Multicenter Cohort Study. *Crit Care Med* 2018;46(4):532-9.
- [54] De Jong A, Molinari N, Pouzeratte Y, Verzilli D, Chanques G, Jung B, et al. Difficult intubation in obese patients: incidence, risk factors, and complications in the operating theatre and in intensive care units. *Br J Anaesth* 2015;114(2):297-306.
- [55] Jaber S, Jung B, Corne P, Sebbane M, Muller L, Chanques G, et al. An intervention to decrease complications related to endotracheal intubation in the intensive care unit: a prospective, multiple-center study. *Intensive Care Med* 2010;36(2):248-55.
- [56] Jaber S, Amraoui J, Lefrant JY, Arich C, Cohendy R, Landreau L, et al. Clinical practice and risk factors for immediate complications of endotracheal intubation in the intensive care unit: a prospective, multiple-center study. *Crit Care Med* 2006;34(9):2355-61.
- [57] Thille AW, Richard JC, Brochard L. The decision to extubate in the intensive care unit. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;187(12):1294-302.
- [58] Epstein SK. Extubation failure: an outcome to be avoided. *Crit Care* 2004;8(5):310-2.
- [59] Jaber S, Delay JM, Chanques G, Sebbane M, Jacquet E, Souche B, et al. Outcomes of patients with acute respiratory failure after abdominal surgery treated with noninvasive positive pressure ventilation. *Chest* 2005;128(4):2688-95.
- [60] Jaber S, Chanques G, Jung B. Postoperative noninvasive ventilation. *Anesthesiology* 2010;112(2):453-61.
- [61] van Kaam AH, Lachmann RA, Herting E, De Jaegere A, van Iwaarden F, Noorduyt LA, et al. Reducing atelectasis attenuates bacterial growth and translocation in experimental pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;169(9):1046-53.
- [62] Girou E, Schortgen F, Delclaux C, Brun-Buisson C, Blot F, Lefort Y, et al. Association of noninvasive ventilation with nosocomial infections and survival in critically ill patients. *JAMA* 2000;284(18):2361-7.
- [63] Brochard L, Mancebo J, Wysocki M, Lofaso F, Conti G, Rauss A, et al. Noninvasive ventilation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med* 1995;333(13):817-22.
- [64] Masip J, Roque M, Sanchez B, Fernandez R, Subirana M, Exposito JA. Noninvasive ventilation in acute cardiogenic pulmonary edema: systematic review and meta-analysis. *JAMA* 2005;294(24):3124-30.
- [65] Jaber S, Petrof BJ, Jung B, Chanques G, Berthet JP, Rabuel C, et al. Rapidly Progressive Diaphragmatic Weakness and Injury during Mechanical Ventilation in Humans. *Am J Respir Crit Care Med* 2010.
- [66] Jung B, Moury PH, Mahul M, de Jong A, Galia F, Prades A, et al. Diaphragmatic dysfunction in patients with ICU-acquired weakness and its impact on extubation failure. *Intensive Care Med* 2016;42(5):853-61.
- [67] Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C, et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence risk factors and prognostic impact-a prospective study *Am J Respir Crit Care Med* 2013;188(2):213-9.
- [68] Jaber S, Bellani G, Blanch L, Demoule A, Esteban A, Gattinoni L, et al. The Intensive Care Med research agenda for airways, invasive and noninvasive mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2017;43(9):1352-65.
- [69] Jaber S, Lescot T, Futier E, Paugam-Burtz C, Seguin P, Ferrandiere M, et al. Effect of Noninvasive Ventilation on Tracheal Reintubation Among Patients With Hypoxemic Respiratory Failure Following Abdominal Surgery: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2016;315(13):1345-53.
- [70] Frat JP, Thille AW, Mercat A, Girault C, Ragot S, Perbet S, et al. High-flow oxygen through

nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure. *N Engl J Med* 2015;372(23):2185-96.

- [71] Bellani G, Laffey JG, Pham T, Madotto F, Fan E, Brochard L, et al. Noninvasive Ventilation of Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. Insights from the LUNG SAFE Study *Am J Respir Crit Care Med* 2017;195(1):67-77.
- [72] Hilbert G, Gruson D, Vargas F, Valentino R, Gbikpi-Benissan G, Dupon M, et al. Noninvasive ventilation in immunosuppressed patients with pulmonary infiltrates, fever,

and acute respiratory failure. *N Engl J Med* 2001;344(7):481-7.

- [73] Lemiale V, Mokart D, Resche-Rigon M, Pene F, Mayaux J, Faucher E, et al. Effect of Noninvasive Ventilation vs Oxygen Therapy on Mortality Among Immunocompromised Patients With Acute Respiratory Failure: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2015;314(16):1711-9.
- [74] Azoulay E, Lemiale V, Mokart D, Nseir S, Argaud L, Pene F, et al. Effect of High-Flow

Nasal Oxygen vs Standard Oxygen on 28-Day Mortality in Immunocompromised Patients With Acute Respiratory Failure. The HIGH Randomized Clinical Trial *JAMA* 2018;320(20):2099-107.

- [75] De Jong A, Hernandez G, Chiumello D. Is there still a place for noninvasive ventilation in acute hypoxemic respiratory failure? *Intensive Care Med* 2018;44(12):2248-50.