

## Quelle ventilation périopératoire chez l'enfant ?

Caroline Duracher<sup>1</sup>, Juliette Montmayer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fédération des Réanimations Chirurgicales Pédiatriques. Hôpital Universitaire Necker Enfants Malades. APHP.

Auteur correspondant : [caroline.duracher@nck.aphp.fr](mailto:caroline.duracher@nck.aphp.fr)

Aucun conflit d'intérêts

### Points essentiels

- L'incidence élevée des complications respiratoires périopératoires en anesthésie pédiatrique motive l'optimisation de la prise en charge ventilatoire.
- Les particularités physiologiques sont liées au développement du système respiratoire.
- Peu d'arguments existent pour choisir un mode ventilatoire plutôt qu'un autre. Il faut choisir d'utiliser le mode que l'on maîtrise le mieux.
- la ventilation mécanique peut être responsable de lésions pulmonaires sur des poumons pédiatriques sains.
- Chaque paramètre du respirateur doit être réfléchi chez l'enfant dont la fraction inspirée en oxygène
- L'obstruction des VAS à l'induction est spécifique de la dynamique respiratoire du petit enfant.
- L'application d'une aide inspiratoire et d'une pression expiratoire positive limite les modifications du système respiratoire induites à l'induction
- Le concept de ventilation protectrice, dérivé de preuves cliniques (études chez l'adulte), appliqué en pédiatrie manque encore de données.
- La lutte contre les atélectasies en appliquant une stratégie de recrutement alvéolaire est une de nos préoccupations en peropératoire mais reste à déterminer les modalités exactes de leur application
- La VNI curative ou préventive post opératoire est à considérer en fonction du terrain et du type de chirurgie et à confier à des équipes entraînées
- Malgré le manque d'études en anesthésie pédiatrique, il faut faire progresser les pratiques des modalités ventilatoires périopératoires mais aussi évaluer la place des nouveaux supports ventilatoires tels que l'oxygénothérapie haut débit.

La majorité des enfants pris en charge au bloc opératoire n'ont pas de pathologie pulmonaire et sont mis sous ventilation mécanique pour l'acte chirurgical [1]. La publication de cette récente étude multicentrique « Apricot » rapportant plus de 30.000 actes d'anesthésie

pédiatrique en Europe décrit chez l'enfant les incidents critiques respiratoires comme les complications les plus fréquemment retrouvées conditionnant la morbi-mortalité périopératoire [2]. Pour se prémunir des conséquences de tels événements, une optimisation de la prise en charge ventilatoire s'impose. La mise en place de la ventilation mécanique (VM) ne doit plus être considérée comme une simple modalité de suppléance. Des données expérimentales et cliniques récemment publiées sont en faveur d'un effet délétère de l'utilisation de hauts volumes courants et de la possibilité de lésions pulmonaires induites par la VM même lors de courtes durées d'exposition à une ventilation agressive chez des patients ayant des poumons antérieurement sains [3, 4]. Le concept de ventilation protectrice, stratégie ventilatoire développée de la réanimation et appliquée récemment en anesthésie, pourrait trouver sa place malgré l'absence de preuves scientifiques et bien que l'appareil respiratoire de l'enfant ne soit pas celui d'un adulte en modèle réduit. La ventilation appliquée à la période périopératoire chez l'enfant présente quelques spécificités à connaître. Nous allons dans cette revue didactique souligner l'importance des particularités pédiatriques de cette approche intégrative de la VM de la phase d'induction à la phase postopératoire.

### **Particularités anatomophysiopathologiques**

#### *Spécificités de la fonction respiratoire*

La physiologie respiratoire du nouveau-né, du nourrisson et de l'enfant présente des particularités spécifiques, à prendre en compte pour la ventilation au bloc opératoire; aussi bien pour le choix du matériel, des réglages du respirateur et des modalités ventilatoires durant la période périopératoire. Pour comprendre comment appliquer la VM pédiatrique à travers différents âges, il faut être conscient des différences des caractéristiques du système respiratoire entre les enfants et les adultes. La petite enfance est caractérisée par un développement rapide des poumons avec des taux de croissance différents des voies aériennes, du parenchyme pulmonaire et de la paroi thoracique. À la naissance, la cage thoracique est souple, très déformable et augmentée de 50 % chez l'enfant de moins d'un an [5]. Elle se rigidifie progressivement pendant les 1ères années de vie améliorant ainsi le couplage thorax-poumon d'autant que la compliance pulmonaire, est très faible chez le nourrisson (8 mL/cmH<sub>2</sub>O) par rapport à l'adulte (140-200 mL/cmH<sub>2</sub>O). L'association d'une compliance thoracique élevée et de voies aériennes très compliantes rend possible l'apparition d'une asynchronie ventilatoire avec des mouvements respiratoires paradoxaux, observables même en ventilation spontanée au calme. Chez le nouveau-né et le nourrisson, le diaphragme

est moins bien apposé sur les côtes du fait de leur horizontalisation, ce qui augmente son travail musculaire. En effet, le diaphragme travaille dans une configuration défavorable avec un mauvais rendement, ce qui l'expose à la survenue rapide de fatigue avec des fibres musculaires lisses également immatures. La fonction respiratoire présente donc des particularités des propriétés statiques et dynamiques de l'ensemble poumon/paroi thoracique d'autant plus marquées que l'enfant est jeune [6, 7]. Le volume courant qui est faible associé à un espace mort important (représentant environ 1/3 du volume courant) impose d'utiliser du matériel de ventilation adapté à l'âge de l'enfant. La ventilation alvéolaire est plus élevée chez l'enfant de l'ordre de 100-150 ml/kg/min par rapport à l'adulte 60 ml/kg/min. La fréquence respiratoire est plus élevée 40 à 60/minutes ce qui diminue le temps expiratoire et contribue à maintenir une hyperinflation pulmonaire relative qui contribue au maintien de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF). Cette CRF représente le volume à la fin de l'expiration normale et constitue un point d'équilibre entre les forces élastiques qui tendent à rétracter le poumon et les forces opposées à cette rétraction par la rigidité de la cage thoracique. La CRF est un paramètre essentiel des échanges gazeux au cours de l'expiration ; ces échanges nécessitent en effet que l'ensemble des territoires pulmonaires reste ouvert jusqu'à la fin de l'expiration. Le maintien d'un niveau optimal de CRF est donc crucial : si ce niveau est trop élevé, le travail respiratoire augmente car la compliance est plus basse, certains territoires pulmonaires distendus seront mal ventilés et perfusés. À l'inverse, si le niveau de CRF est trop bas, son rôle de réserve d'air pour les échanges gazeux en fin d'expiration est compromis, la fermeture des petites voies aériennes favorise le collapsus de certains territoires pulmonaires, créant un shunt intrapulmonaire, et le travail respiratoire augmente, la compliance étant également diminuée. En outre, la fermeture en expiration puis la réouverture de certains territoires à chaque cycle peut entraîner des dommages alvéolaires. Le maintien du niveau de CRF est donc essentiel. Chez l'adulte et le grand enfant, ce contrôle est relativement simple en l'absence de pathologie. En effet, lors d'une respiration normale, le système respiratoire est totalement au repos à la fin de l'expiration, la CRF est égale au volume de relaxation. À l'inverse, chez le nouveau-né et le nourrisson, la compliance élevée de la cage thoracique oppose peu de résistance aux forces de rétraction pulmonaire qui sont importantes. Le volume de relaxation du système respiratoire est donc très faible. Plusieurs mécanismes sont alors mis en jeu pour maintenir de façon active la CRF au-dessus du volume de relaxation (ou élévation dynamique de la CRF) grâce à une fréquence respiratoire haute et un temps expiratoire court, à un freinage expiratoire par contraction laryngée et probablement

par maintien d'une activité diaphragmatique tonique [8]. Ce dernier mécanisme reste cependant un sujet de controverse dans la littérature. Le niveau de CRF chez le nouveau-né et le nourrisson est donc la résultante de mécanismes multiples actifs ayant chacun une variabilité intrinsèque importante, à laquelle s'ajoute différentes influences extrinsèques physiologiques (sommeil, soupirs, position, alimentation) ou non (pathologie pulmonaire, apnées, ventilation assistée). L'association d'une ventilation alvéolaire élevée avec une CRF « réduite » explique ainsi la survenue rapide de l'hypoxémie en cas d'hypoventilation.

Alors que chez l'adulte, les alvéoles des sommets (ou de la partie supérieure décubitus) restent davantage remplies que celles des bases et reçoivent moins d'air que les bases, l'inverse se produit chez le nourrisson : la partie du poumon la mieux ventilée est celle qui se trouve en position supérieure modifiant ainsi la distribution de la ventilation. Les modifications périopératoires de la mécanique ventilatoire résultant de l'anesthésie générale et de l'intervention chirurgicale que nous ne détaillerons pas dans cette revue sont centrées sur une diminution de la CRF d'autant plus importante chez l'enfant en particulier par inhibition des mécanismes actifs de maintien exposant à un collapsus rapide des voies aériennes (lorsque le volume pulmonaire de fin d'expiration est inférieure au volume de fermeture) et au développement des atélectasies entravant les échanges gazeux.

#### *Spécificités des lésions induites par la ventilation mécanique (VM)*

La VM est responsable de lésions pulmonaires connues sous le nom de *ventilator-induced lung injury* (VILI) mais aussi de lésions de l'appareil musculaire plus particulièrement d'une dysfonction diaphragmatique. Ce concept de VILI développé dans le cadre du SDRA est également décrit sur des poumons sains chez l'adulte mais aussi chez l'enfant [4]., reposant sur plusieurs mécanismes physiopathologiques identifiés : le volotraumatisme, le barotraumatisme, l'atélectraumatisme et le bio-traumatisme à l'origine de dommages pulmonaires structurels et fonctionnels.

L'importance du volotraumatisme a été mise en exergue à partir des années 2000 avec la publication de l'ARDS network sur l'importance de l'utilisation de petit volume courant et de limiter les pressions dans le cadre de l'ARDS chez l'adulte [9]. Cette approche protectrice de la VM est également développée depuis plusieurs années dans la littérature néonatalogiste. L'extrême immaturité structurelle et biochimique rend les poumons des prématurés particulièrement vulnérables aux lésions pulmonaires à la VM imposant une prise en charge ventilatoire qui repose sur les mêmes principes de la ventilation protectrice appliquée à l'adulte

reposant sur la restriction du volume courant afin de limiter de la distension alvéolaire et la titration du niveau de PEP afin d'optimiser l'oxygénation chez les prématurés [10]. L'application d'une stratégie de ventilation protectrice s'est donc imposée chez l'enfant malgré les différences physiologiques et immunologiques existantes par rapport à l'adulte et aux prématurés. Ceci malgré une littérature pédiatrique qui semble démontrer une moindre susceptibilité aux VILI qui seraient dépendantes de l'âge [11]. Hélas, ces données ne s'appuient que sur des études uniquement expérimentales conduites chez le petit animal avec l'utilisation de volume courant supra-physiologique. Cependant tous les résultats vont dans le même sens, le poumon pédiatrique serait préservé des VILI dans une proportion qui reste à définir [12]. Réduire la ventilation protectrice à une simple diminution du volume courant est insuffisante. Dans une méta-analyse récente portant sur 7 études observationnelles incluant 1756 patients, De Jager et al. [13] ne montrent pas de relation entre le volume courant et la mortalité. Les conséquences de cette réduction du volume courant limitant les effets de la distension pulmonaire entraînent un dérecrutement alvéolaire qu'il faut anticiper. Dans l'approche intégrative de la ventilation protectrice, la seule modification du volume courant n'est donc pas suffisante, laissant une place à la limitation des pressions qui a montré son effet sur la mortalité [14] mais aussi à l'utilisation concomitante d'un niveau suffisant de PEP permettant de limiter l'atélectraumatisme : phénomènes d'ouverture et fermeture cycliques des alvéoles.

## **Quelles sont les spécificités des modalités ventilatoires périopératoires chez l'enfant ?**

### *De l'induction à l'entretien : quels supports ventilatoires ?*

#### 1. Application de l'aide inspiratoire et de la PEP dès l'induction: intérêts

Les difficultés rencontrées lors de l'induction en pédiatrie proviennent des particularités anatomophysiologiques décrites précédemment. Chez le petit enfant, le volume courant faible et l'espace mort important imposent d'utiliser un matériel de ventilation adapté, en particulier des respirateurs dotés de système de compensation qui corrige le  $V_t$  délivré en fonction de la compliance interne du respirateur et en fonction du débit de gaz frais. Nous savons que l'induction de l'anesthésie induit une obstruction partielle inspiratoire objectivée dans des études IRM qui révèlent une diminution du calibre des VAS, notamment en ce qui concerne les diamètres antéro-postérieur et transverse. Cet effet est concentration-dépendante et ressemble à l'obstruction observée en cas syndrome d'apnée obstructive du sommeil (SAOS)

[15] . À cette obstruction vient s'ajouter les caractéristiques de la physiologie respiratoire de l'enfant avec une majoration de l'asynchronie qui peut rendre difficile la ventilation au masque facial. L'induction anesthésique induit également une augmentation excessive de travail respiratoire pouvant conduire à une fatigue, en augmentant le volume de fermeture et les résistances des voies aériennes. Cette augmentation du travail respiratoire est plus importante lors de la ventilation spontanée au masque facial qu'au masque laryngé ou qu'à travers une sonde d'intubation [16]. L'application d'un support ventilatoire dès l'induction pourrait prévenir l'obstruction des voies aériennes, diminuer l'effort respiratoire, tout en maintenant un volume courant élevé, pour obtenir rapidement une concentration en sévoflurane permettant l'intubation mais aussi la prévention des atélectasies. Ce support ventilatoire idéal pourrait faciliter le travail respiratoire tout en respectant la ventilation spontanée et en limitant l'hypoventilation. L'aide inspiratoire représente ce support ventilatoire adapté. Ce mode asservi à la commande ventilatoire du patient, consiste à une pressurisation des voies aériennes, jusqu'au niveau de pression sélectionnée, qui prend effet lors de la détection d'une chute de débit ou de pression (trigger) au moment de l'effort inspiratoire du patient et dont l'expiration survient en réponse à la détection d'une modification de débit ou de pression (trigger) expiratoire sélectionné (habituellement fixé à 25 % du débit inspiratoire maximal du patient). Ce mode a montré son intérêt sur la diminution du travail respiratoire et la réduction de l'asynchronie thoraco-abdominale chez le nouveau-né et l'enfant, améliorant ainsi l'efficacité ventilatoire [17, 18]. L'utilisation de l'aide inspiratoire à l'induction, permet également une meilleure distribution du volume courant, restaure l'activité diaphragmatique et pourrait limiter la formation des atélectasies [19]. Ses bénéfices sont multiples sur l'augmentation de la durée d'apnée non hypoxique, la diminution de la formation des atélectasies et la diminution de la consommation d'halogéné. Une étude récente a objectivé, lors de l'induction inhalatoire au sévoflurane, une amélioration de la ventilation par un meilleur volume courant expiré, et de la profondeur d'anesthésie [20]. Il semble justifié de l'intégrer en pratique clinique au bloc opératoire même si des études complémentaires sont nécessaires. Concernant les réglages, le niveau d'AI est fixé en fonction du volume courant désiré (8 ml/kg) en surveillant l'insufflation gastrique qui est fréquente chez le nourrisson justifiant l'utilisation de pression inférieure à 15 cmH<sub>2</sub>O. Le niveau du trigger est fixé afin d'éviter tout auto-déclenchement détecté sur les courbes de débit/pression. L'application d'une PEP semble également s'imposer lors de l'induction en permettant de lutter contre la fermeture des voies aériennes, et en diminuant le travail musculaire [21]. Elle

limite ainsi les anomalies de distribution du rapport ventilation/perfusion et permet de lutter contre les atelectasies en restaurant une compliance normale sans désaturation. L'utilisation de la PEP répond donc à une logique physiologique en s'opposant au collapsus des voies aériennes et à la réduction du volume pulmonaire en fin d'expiration. Reste à déterminer le niveau optimal pour le poumon sain pédiatrique. Le niveau de PEP à appliquer se situe habituellement entre 5 et 10 cmH<sub>2</sub>O.

## 2. Optimisation de la préoxygénation avec quelle FiO<sub>2</sub> ?

L'application d'un support ventilatoire permet également l'optimisation de la préoxygénation, prérequis essentiel à la gestion des voies aériennes. De par sa physiologie, la durée d'apnée sans désaturation est d'autant plus réduite que l'enfant est jeune [22]. Cette préoxygénation qui a comme objectif de réduire le plus possible le risque de désaturation et d'hypoxie lors de l'apnée/hypoventilation, en créant une réserve d'oxygène au niveau de la CRF et en utilisant une FiO<sub>2</sub> élevée est à contrebalancer par l'effet toxique potentiel de l'oxygène. L'oxygène possède chez les nouveau-nés un index thérapeutique étroit rendant le choix du réglage de la FiO<sub>2</sub> difficile pris entre la nécessité de prévenir les complications hypoxiques et la toxicité de l'oxygène sur un organisme en développement. Il a été clairement démontré dans la littérature que l'hyperoxie est délétère chez les prématurés et les nouveau-nés par la production de dérivés réactifs de l'oxygène qui induisent des lésions de l'ADN, des voies de signalisation et des fonctions enzymatiques responsables de rétinopathie, de bronchodysplasie et de lésion cérébrale [23, 24]. Les autres conséquences de l'hyperoxie au bloc opératoire sont pour les plus connues par les anesthésistes réanimateurs : la survenue d'atelectasies périopératoires, en particulier pendant cette phase de préoxygénation, imposant des niveaux élevés de FiO<sub>2</sub> [25, 26]. Pour contrer les effets de cette préoxygénation sur la distribution du rapport ventilation/perfusion, l'ajout d'une PEP habituellement fixée entre 5 et 10 cmH<sub>2</sub>O permet de restaurer une bonne compliance et de limiter l'hypoventilation en retardant la désaturation lors de l'intubation. Concernant le réglage de la FiO<sub>2</sub> peropératoire, son augmentation n'est pas toujours la réponse appropriée en cas d'hypoxie car celle-ci est rarement due à un trouble de la diffusion. Elle est le plus souvent associée soit à une hypoventilation, dont la correction passe par une augmentation du volume minute, soit liée à des inégalités des rapports ventilation/perfusion. Actuellement, il n'est pas possible au vu de la littérature, de faire des recommandations sur le niveau idéal de FiO<sub>2</sub>. Une étude récente propose une préoxygénation et une extubation à FiO<sub>2</sub> 80% avec une FiO<sub>2</sub>peropératoire entre 25-30% (17). Chez le

nouveau-né et le prématuré, il faut probablement utiliser des  $\text{FiO}_2$  plus basses, entre 21 et 30% [27].

### 3. Place de la ventilation protectrice chez l'enfant

En pratique à la fin de l'induction, lors de l'apparition des apnées, on envisage le recours à un mode ventilatoire contrôlé jusqu'à l'extubation. Comme chez l'adulte, il n'existe pas dans la littérature de données en faveur de la supériorité du mode pression contrôlée par rapport au mode volume contrôlé. Dans la mesure où le volume courant délivré est équivalent, la pression alvéolaire et la pression plateau ne diffèrent pas. Seul le débit est différent entre ces 2 modes : débit décélérant en mode barométrique versus débit constant en mode volumétrique. Il est important de savoir quels sont les paramètres ventilatoires à surveiller et quelles alarmes doivent être réglées en fonction du mode utilisé. Lors de l'entretien de l'anesthésie chez l'enfant, les modes en pression, qui ont l'avantage de contrôler la pression insufflée de façon constante dans les voies aériennes, sont historiquement utilisés [28]. Ce mode s'est imposé en pédiatrie depuis longtemps compte tenu de la fréquence des ventilations à fuite (utilisation des sondes sans ballonnet et plus récemment l'utilisation des masques laryngés) mais aussi par une culture de limitation de la pression d'insufflation dans la prévention du barotraumatisme [28]. Ce mode impose donc une surveillance du volume courant, non garanti, car altéré par toute modification de la compliance du système thoraco-pulmonaire ou augmentation des résistances des voies aériennes. En pratique clinique, il est recommandé d'utiliser le mode ventilatoire que l'on maîtrise le mieux. Le niveau de pression doit être réglé en fonction du volume courant souhaité, idéalement situé entre 7-8 ml/kg sans dépasser  $V_t < 10$  ml/kg [29]. La fréquence respiratoire dépendante de l'âge de l'enfant est adaptée pour obtenir une normocapnie. L'adaptation de ces différents paramètres ventilatoires doit reposer sur un monitoring peropératoire des courbes de pression-volume et courbes de débit en fonction du temps mais aussi sur la fraction expirée en  $\text{CO}_2$  qui nous donne de multiples informations sur la perméabilité des voies aériennes, les modifications de la ventilation mais aussi de l'hémodynamique.

Même s'il n'existe aucune étude pédiatrique qui a rapporté l'intérêt de l'utilisation d'une approche protectrice de la ventilation périopératoire chez l'enfant, il semble raisonnable de l'appliquer à la lumière des résultats obtenus dans la littérature adulte chez des patients à haut risque de complications respiratoires postopératoires (obésité, chirurgie thoraco-abdominale ou cardiaque). Deux études princeps randomisées conduites chez l'adulte ont montré le



bénéfice de l'application d'une ventilation protectrice périopéraoie en chirurgie abdominale sur la réduction des complications respiratoires postopératoires [30, 31] L'intérêt de la mise en place d'une stratégie ventilatoire globale a été démontré. Cette approche intégrative qui associe la réduction des volumes courants avec l'application de méthode de recrutement alvéolaire associant une PEP et des manœuvres de recrutement alvéolaire (MRA) est bénéfique, plus que la modification isolée de certains paramètres [32]. En effet, la simple application d'une PEP utilisée au bloc pour s'opposer au dérecrutement est insuffisante pour permettre la réexpansion d'un collapsus pulmonaire ou d'une atélectasie impliquant l'introduction de MRA. En clinique, l'amélioration de l'oxygénation et l'augmentation du volume recruté ont été validées après réalisation de ces MRA mais des interrogations persistent sur leurs modalités d'application (type, fréquence, durée, niveau de pression) durant la période périopératoire, au regard de la littérature et des conséquences, en particulier hémodynamiques (réduction débit cardiaque avec chute de la pression artérielle par réduction de la précharge) [32, 33]. Il est donc impératif de contrebalancer les bénéfices/risques de l'application de ces MRA en vérifiant systématiquement l'absence de précharge dépendance préalable. Chez l'enfant, ces MRA sont peu décrites [34]. Elles restent très variables selon les études, elles pourraient trouver leur place comme chez l'adulte après l'intubation, avant l'extubation mais aussi après chaque acte dérecrutant (déconnexion, aspirations trachéales) ou devant toutes modifications des contraintes mécaniques en particulier objectivées en chirurgie abdominale ou chez l'obèse.

Concernant l'application de la ventilation protectrice périopératoire, il reste encore à déterminer les enfants les plus à risque de complications respiratoires postopératoires qui pourraient bénéficier de cette prise en charge intégrative de la VM peropératoire.

#### *Place de la ventilation non invasive (VNI) en postopératoire chez l'enfant.*

Comme chez l'adulte, l'anesthésie générale et la chirurgie induisent des modifications de la mécanique ventilatoire postopératoire qui sont responsables d'hypoxémie, de réduction des volumes pulmonaires et d'atélectasies (syndrome restrictif et dysfonctionnement diaphragmatique) qui peuvent conduire à une insuffisance respiratoire aiguë (IRA) postopératoire. La survenue d'une dysfonction ventilatoire postopératoire est souvent multifactorielle [35]. Elle intéresse aussi bien la fonction pompe (c'est à dire les muscles respiratoires et tout particulièrement le diaphragme) que la fonction échangeur (le poumon

lui-même). Cette dysfonction peut persister plusieurs heures après la chirurgie et expose au développement d'une IRA postopératoire. Dans ce contexte, l'utilisation de la VNI aurait un double objectif : premièrement de compenser tout ou une partie des atteintes de la fonction ventilatoire en diminuant le travail des muscles respiratoires, en améliorant la ventilation alvéolaire, les échanges gazeux et en diminuant les atélectasies [36] et deuxièmement d'éviter l'intubation trachéale. Plusieurs travaux ont démontré qu'une ré-intubation pour IRA exposait le patient chirurgical aux complications spécifiques de l'intubation et de la ventilation mécanique (complications infectieuses notamment), ainsi qu'à une augmentation de la mortalité postopératoire [37]. La VNI permet de s'affranchir de certains effets indésirables de la ventilation invasive et d'éviter le recours à une intubation oro-trachéale, constituant ainsi le rationnel physiopathologique [38, 39]. La place de la VNI durant la période postopératoire chez l'enfant reste mal établie, en raison principalement du manque d'études actuellement disponibles. Il faut donc se tourner vers les résultats obtenus en réanimation pédiatrique même si la plupart des données reposent essentiellement sur des études descriptives ou des opinions d'experts par manque d'essais randomisés contrôlés ; la pratique courante contrastant avec le manque d'études dans ce domaine. Néanmoins, les études cliniques descriptives publiées en réanimation pédiatrique ont permis de mettre en évidence l'intérêt et l'efficacité de la VNI dans certaines indications d'IRA (bronchiolite, pneumopathies...) qui pourraient motiver son utilisation durant la période postopératoire. La littérature adulte est plus abondante pour appuyer l'intérêt de la VNI dans le domaine postopératoire. En effet, plusieurs études observationnelles et/ou randomisées portant sur de petits échantillons de patients chirurgicaux ont montré l'intérêt de l'application de la VNI en postopératoire [36]. Son utilisation peut se concevoir de deux façons : la première consiste en une application « prophylactique » ou préventive, afin d'éviter l'apparition d'une IRA postopératoire et le recours à l'intubation, et la seconde consiste en une application « curative » chez des patients présentant une IRA.

### 1. VNI curative

L'essentiel de l'expérience clinique rapportée chez les enfants a longtemps été limité à son application de manière chronique, avec plus récemment quelques études à la phase aiguë. Même si la bronchiolite est l'une des indications pour laquelle la VNI est largement utilisée en réanimation pédiatrique, le niveau de preuve reste limité comme pour les autres indications (la détresse respiratoire post-extubation, SDRA, pneumopathie, AAG, décompensation IRC ou bien l'obstruction des VAS). Deux essais randomisés contrôlés (50 patients au total) ont

montré un bénéfice de la VNI dans le traitement de la bronchiolite, comparée au traitement standard en termes de travail respiratoire et d'échanges gazeux [40, 41]. Il a été également démontré que son utilisation est associée à une diminution de la durée de ventilation, de la durée de séjour et de la morbidité. Cependant aucune étude randomisée contrôlée comparant la VNI à la ventilation invasive n'a été réalisée, ce qui explique que la métaanalyse Cochrane publiée en 2015 ait conclu à un bénéfice incertain [42]. (Essouri CCM 2015).

Dans le cadre du SDRA de l'enfant, sujet d'une conférence de consensus récente : la *Pediatric Acute Lung Consensus Conference* (PALICC), outre la clarification de la définition adaptée à l'enfant (différente de celle de l'adulte) et la description des stades de gravité, des recommandations ont été émises malgré le nombre limité de données quant à l'utilisation de la VNI dans cette indication. Celle-ci paraît être une alternative mais doit être limitée aux formes les moins sévères (Palicc ped CCM 2015) en surveillant étroitement le rapport pression partielle artérielle en oxygène/fraction inspirée en oxygène. Dans cette indication, les experts recommandent d'utiliser l'interface oro-buccale ou faciale associée au mode ventilatoire à 2 niveaux de pression avec un accord faible [43].

Concernant l'obstruction des VAS survenant après une intubation ou dans le cadre d'une pathologie inflammatoire ou infectieuse, aucune étude n'est actuellement disponible. Si l'on transpose ces résultats obtenus à l'IRA postopératoire chez l'enfant, il est important de contrebalancer le bénéfice de la VNI à son principal risque de retarder le recours à l'intubation, imposant une surveillance rapprochée et une détection de marqueurs d'échec ou de détérioration, qui restent à standardiser [44]. Maintenant si on se tourne vers la littérature adulte, on constate que peu de travaux ont montré la faisabilité et l'efficacité de la VNI curative après chirurgies thoraciques et/ou abdominales [45]. . L'étude de Jaber et al. [46] est la première étude à montrer un bénéfice de la VNI lors des IRA survenant en postopératoire de chirurgie viscérale. Dans ce travail prospectif, l'utilisation de la VNI a permis d'éviter une intubation trachéale chez 67 % des patients. Dans le cadre de la chirurgie thoracique une étude observationnelle portant sur 690 patients à risque de complications après résection pulmonaire, Lefebvre et coll. [25] ont confirmé la faisabilité et l'efficacité de l'utilisation précoce de la VNI pour le traitement d'une IRA après résection pulmonaire. Conduite sur une période de 4 ans, seulement 16 % des patients ont développé une IRA traitée par VNI avec un taux de succès de la VNI de 85 %. Dans la littérature pédiatrique, on ne retrouve pas de données disponibles quant à l'application curative de la VNI postopératoire.

## 2. VNI préventive

L'application d'une VNI préemptive permettrait d'éviter la survenue de complications postopératoires. Plusieurs travaux chez l'adulte ont évalué l'intérêt de la VNI préventive en postopératoire de chirurgie abdominale, thoracique et cardiaque. En chirurgie abdominale majeure, les études ont montré un bénéfice (principalement la CPAP dans cette indication) d'autant plus important que les séances étaient précoces (dès l'extubation) et rapprochées lors des premières heures après extubation. Dans une étude prospective multicentrique incluant 209 patients randomisés en deux groupes : un groupe traité par VNI (CPAP de 7,5 cmH<sub>2</sub>O, n = 105) et un groupe contrôle recevant une oxygénothérapie conventionnelle au masque facial (n = 104), Squadrone et al. [48] ont montré que les patients présentant une hypoxémie ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300$ ) traités par CPAP en postopératoire présentaient significativement moins d'intubations (1 % versus 10 %, p = 0,005), de pneumopathies (2 % versus 10 %, p = 0,02) et de sepsis (2 % versus 9 %, p = 0,03) que les patients du groupe contrôle. En compilant les données de 9 essais randomisés contrôlés, une méta analyse a montré une réduction du risque de complications respiratoires postopératoires (pneumopathies et atélectasies) et du risque d'intubation trachéale par l'utilisation de CPAP en postopératoire par rapport à l'administration d'oxygène et à la réalisation de séances de kinésithérapie respiratoire (réduction du risque de 0,34 [IC95% 0,15–0,48] avec un nombre nécessaire de patients à traiter pour observer la réduction d'une complication respiratoire de 14,2 [IC95% 9,9–32,4]) [49]. Dans une étude conduite par l'équipe d'Aguilo et al. [50] il a été montré la faisabilité de la VNI prophylactique chez 10 patients opérés d'une chirurgie de résection pulmonaire avec un bénéfice en terme d'amélioration de l'oxygénation et de réduction significative de la durée d'hospitalisation dans le groupe VNI. La seule étude pédiatrique en excluant la chirurgie cardiaque porte sur un faible effectif, elle a évalué le bénéfice de la VNI prophylactique associée à une technique d'assistance de toux (administrée en préopératoire et en postopératoire immédiat dans la chirurgie de scoliose non idiopathique). Les auteurs ont décrit l'absence de survenue de complications postopératoires normalement attendues dans cette population spécifique [51]. Ces résultats devront être confortés bien évidemment par des études randomisées. L'application préventive de la VNI pourrait être indiquée soit après certains types de chirurgie à risque (chirurgie abdominale, scoliose, chirurgie cardiaque), soit à certains patients sélectionnés (IRChronique, SAOS ...) avec comme préalable la nécessité d'identifier les facteurs de risque de développer une IRA postopératoire.

### 3. La VNI en pratique

Les modalités d'application d'une VNI postopératoire reposent sur plusieurs types de supports ventilatoires : soit la ventilation spontanée en pression positive continue VS-PEP (ou CPAP), soit la ventilation spontanée avec aide inspiratoire (VS-AI) associée à une pression expiratoire positive (PEP) (ou BIPAP pour *bilevel positive airway pressure*). Le mode CPAP, délivrant une pression positive continue, inspiratoire et expiratoire, grâce à un dispositif générant un haut débit de gaz (plus rarement un compresseur portable) est le support ventilatoire postopératoire le plus étudié dans la littérature adulte. L'efficacité de la CPAP sur les échanges gazeux procède principalement d'une augmentation de pression alvéolaire et de pression partielle alvéolaire en oxygène. Contrairement à l'utilisation d'une PEP seule, l'AI fournit une réponse physiologique plus adaptée (notamment en terme de diminution de charge ventilatoire) et permet une diminution plus marquée de la dyspnée. L'adéquation entre l'interface et l'enfant lors de la mise en place d'une VNI est fondamentale. Ce choix de l'interface patient-ventilateur (masque naso-buccal habituellement, mais aussi nasal ou par casque intégral) est essentiel, il doit être guidé par la morphologie de l'enfant, la présence ou non d'une sonde gastrique et le type de mode ventilatoire que l'on souhaite utiliser [42]. La tolérance de l'enfant et l'importance des fuites (responsables d'asynchronies patient/ventilateur) conditionnent l'efficacité du traitement. Si aucun type d'interface n'a montré sa supériorité dans le contexte de la VNI, il est souvent recommandé de pouvoir disposer de plusieurs types d'interfaces afin de s'adapter au mieux aux caractéristiques de chaque enfant. De même, plusieurs types de ventilateurs peuvent être utilisés. Lors de l'utilisation d'un ventilateur de réanimation (par opposition aux ventilateurs « dédiés VNI »), il est impératif de disposer d'un mode adapté à la VNI prenant en compte les fuites (compensation des fuites) afin de limiter le risque d'asynchronies et d'améliorer le confort du patient.

L'arrivée de nouvelles méthodes de support ventilatoire comme l'oxygénothérapie haut débit (OHD), administrée à travers les canules binasales, a fait récemment évoluer les indications des différents supports ventilatoires. Les mécanismes d'action de l'OHD ne sont pas parfaitement élucidés d'un point de vue physiologique. Son efficacité reste discutée lorsqu'elle est comparée à la VNI. Malgré des résultats encourageants obtenus dans le traitement des bronchiolites de gravité intermédiaires, une étude multicentrique publiée récemment, remet en cause la place de l'OHD dans cette indication [52]. Il n'existe pas d'études pédiatriques disponibles sur l'intérêt de l'utilisation de l'OHD dans le traitement ou la prévention de l'IRA postopératoire.

Les effets positifs de la VNI reposent essentiellement sur l'humidification, l'application d'une PEP, le réglage de la FiO<sub>2</sub> et l'apport d'une assistance respiratoire, sans oublier ses effets cardiaques. Mais il est important de ne pas négliger ses effets négatifs : mauvaise tolérance, asynchronie, intubation retardée et risque de barotraumatisme. Lors de l'utilisation de la VNI postopératoire, qu'elle soit prophylactique ou curative, il est impératif d'identifier les critères prédictifs d'échec de la VNI tels qu'ils ont été identifiés dans la littérature pédiatrique, de connaître les limites et de respecter ces contre-indications [53, 54]. Concernant les modalités de mise en place, il est difficile de donner des consignes idéales, elles doivent s'adapter à chaque patient en fonction du temps. La VNI reste un acte thérapeutique complexe qui doit être utilisé par une équipe entraînée.

La ventilation est une stratégie thérapeutique globale, centrée sur la limitation du collapsus alvéolaire et le contrôle de la CRF lors des périodes à risque, associant l'utilisation de la VNI à l'induction, l'application d'une ventilation peropératoire protectrice basée sur une réduction des volumes, une limitation des pressions associées à une stratégie de recrutement alvéolaire (PEP/MRA) mais aussi le recours à la VNI postopératoire chez les enfants les plus à risque de complications postopératoires [55]. Cette approche multimodale probablement individualisable de la prise en charge ventilatoire périopératoire appliquée à la pédiatrie présente des particularités qu'il est important de prendre en compte. Cette optimisation de la VM (**Figure 1**) a besoin d'études pour faire progresser les pratiques chez l'enfant.

## Références

1. Feldman JM. Optimal ventilation of the anesthetized pediatric patient. *Anesth Analg* 2015;120:165–75
2. Habre W, Disma N, Virag K, Becke K, Hansen TG, Jöhr M, et al. Incidence of severe critical events in paediatric anaesthesia (APRICOT): a prospective multicentre observational study in 261 hospitals in Europe. *Lancet Respir Med* 2017; 5:412-425
3. A. Serpa Neto, S.O. Cardoso, J.A. Manetta. Association between use of lung-protective ventilation with lower tidal volumes and clinical outcomes among patients without acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis. *J Am Med Assoc* 2012: 1651–1659

4. F.B. Plotz, H.A. Vreugdenhil, A.S. Slutsky, et al. Mechanical ventilation alters the immune response in children without lung pathology. *Intensive Care Med* 2002; 28:486–492
5. Papastamelos C, Panitch HB, England SE, Allen JL. Developmental changes in chest wall compliance in infancy and early childhood. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1995;78:179–84
6. Green M, Mead J, Turner JM. Variability of maximum expiratory flow-volume curves. *J Appl Physiol* 1974;37:67–74
7. Sly PD, Lanteri CJ, Kelly JH, Meretoja O. Disturbance in respiratory mechanics with extreme truncal flexion during anaesthesia in children. *Anaesth Intensive Care* 1991;19:220–4
8. Kosch PC, Stark AR. Dynamic maintenance of end-expiratory lung volume in full-term infants. *J Appl Physiol* 1984; 57: 1968-1978
9. Acute Respiratory Distress Syndrome Network, Brower RG, Matthay MA, Morris A, Schoenfeld D, Thompson BT, Wheeler A. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2000;342:1301-8
10. Dargaville PA, Tingay DG. Lung protective ventilation in extremely preterm infants. *J Paediatr Child Health* 2012;48:740–6
11. Kneyber MC, Zhang H, Slutsky AS. Ventilator-induced lung injury. Similarity and differences between children and adults. *Am J Respir Crit Care Med* 2014;190:258-65.
12. Copland IB, Martinez F, Kavanagh BP, Engelberts D, McKerlie C, Belik J, Post M. High tidal volume ventilation causes different inflammatory responses in newborn versus adult lung. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;169:739–748
13. de Jager P, Burgerhof JG, van Heerde M, Albers MJ, Markhorst DG, Kneyber MC. Tidal volume and mortality in mechanically ventilated children: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Crit Care Med* 2014 ;42:2461–2472

14. G. Briassoulis, S. Venkatamaran, A. Vasilopoulos. Influence of low volume pressure-limited ventilation on outcome of severe paediatric pulmonary diseases. *Min Invas Ther Allied Technol* 1999; 8: 377–384
15. Eastwood PR, Szollosi I, Platt PR, Hillman DR. Comparison of upper airway collapse during general anaesthesia and sleep. *Lancet* 2002;359:1207-9
16. Keidan I, Fine GF, Kagawa T, Schneck FX, Motoyama EK. Work of breathing during spontaneous ventilation in anesthetized children: a comparative study among the face mask, laryngeal mask airway and endotracheal tube. *Anesth Analg* 2000;91:1381–8
17. Bosek V, Roy L, Smith RA. Pressure support improves efficiency of spontaneous breathing during inhalation anesthesia. *J Clin Anesth* 1996;8(1):9–12
18. Tokioka H, Kinjo M, Hirakawa M. The effectiveness of pressure support ventilation for mechanical ventilatory support in children. *Anesthesiology* 1993;78:880–4
19. Hedenstierna G, Tokics L, Lundquist H, Andersson T, Strandberg A, Brismar B. Phrenic nerve stimulation during halothane anesthesia. Effects of atelectasis. *Anesthesiology* 1994;80:751–60
20. Banchereau F, Herve Y, Quinart A, Cros A-M. Pressure support ventilation during inhalational induction with sevoflurane and remifentanyl in adults. *Eur J Anaesthesiol* 2005 ;22:826–30
21. Keidan I, Berkenstadt H, Segal E, Perel A. Pressure versus volume-controlled ventilation with a laryngeal mask airway in paediatric patients. *Paediatr Anaesth* 2001;11:691–4
22. Dupeyrat A, Dubreuil M, Ecoffey C. Preoxygenation in children. *Anesth Analg* 1994 ;79:1027
23. Rahal A, Kumar A, Singh V, Yadav B, Tiwari R, Chakraborty S, et al. Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay. *BioMed Res Int* 2014;2014:761264
24. Auten RL, Davis JM. Oxygen toxicity and reactive oxygen species: the devil is in the details. *Pediatr Res* 2009 ;66:121–7
25. Magnusson L, Spahn DR. New concepts of atelectasis during general anaesthesia. *Br J*



26. Edmark L, Kostova-Aherdan K, Enlund M, Hedenstierna G. Optimal oxygen concentration during induction of general anesthesia. *Anesthesiology* 2003 ;98:28–33
27. Habre W, Petak F. Perioperative use of oxygen: variabilities across age. *Br J Anaesth* 2014 ;113 Suppl 2:ii26–36
28. Fesseau R(1), Alacoque X, Larcher C, Morel L, Lepage B, Kern D. An ADARPEF survey on respiratory management in pediatric anesthesia. *Paediatr Anaesth* 2014 ;24:1099-105
29. Randolph AG. Management of acute lung injury and acute respiratory distress syndrome in children. *Crit Care Med* 2009;37:2448-54
30. Severgnini P, Selmo G, Lanza C, Chiesa A, Frigerio A, Bacuzzi A, Dionigi G, Novario R, Gregoretti C, de Abreu MG, Schultz MJ, Jaber S, Futier E, Chiaranda M, Pelosi P. Protective mechanical ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery improves postoperative pulmonary function. *Anesthesiology* 2013;118:1307-1321
31. Futier E, Constantin JM, Paugam-Burtz C, Pascal J, Eurin M, Neuschwander A, Marret E, Beaussier M, Gutton C, Lefrant JY, Allaouchiche B, Verzilli D, Leone M, De Jong A, Bazin JE, Pereira B, Jaber S. A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *N Engl J Med* 2013;369:428-437
32. Futier E, Marret E, Jaber S. Perioperative positive pressure ventilation: An integrated approach to improve pulmonary care. *Anesthesiology* 2014;121:400-408
33. Lim SC, Adams AB, Simonson DA, Dries DJ, Broccard AF, Hotchkiss JR. Transient hemodynamic effects of recruitment maneuvers in three experimental models of acute lung injury. *Crit Care Med*. 2004;32: 2378-84
34. Tusman G, Böhm SH, Tempra A, Melkun F, García E, Turchetto E, Mulder PG, Lachmann B. Effects of recruitment maneuver on atelectasis in anesthetized children. *Anesthesiology* 2003;98:14–22
35. Warner DO. Preventing postoperative pulmonary complications: the role of the anesthesiologist. *Anesthesiology* 2000;92(5):1467-72

36. Jaber S, Chanques G, Jung B. Postoperative noninvasive ventilation. *Anesthesiology*. 2010;112:453-461
37. Jaber S, Jung B, Corne P, 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;36:248-255
38. Brueckmann B, Villa-Urbe JL, Bateman BT, Grosse-Sundrup M, Hess DR, Schlett CL, Eikermann M. Development and validation of a score for prediction of postoperative respiratory complications. *Anesthesiology* 2013;118:1276-85.
39. Wolfler A, Calderini E, Iannella E, Conti G, Biban P, Dolcini A, Pirozzi N, Racca F, Pettenazzo A, Salvo I; Network of Pediatric Intensive Care Unit Study Group. Evolution of non-invasive mechanical ventilation use: a cohort study among Italian PICUs *Pediatr Crit Care Med* 2015; 16:418–427
40. Essouri S, Durand P, Chevret L, Balu L, Devictor D, Fauroux B, Tissières P. Optimal level of nasal continuous positive airway pressure in severe viral bronchiolitis. *Intensive Care Med* 2011;37:2002-7
41. Milési C, Matecki S, Jaber S, Mura T, Jacquot A, Pidoux O, Chautemps N, Novais AR, Combes C, Picaud JC, Cambonie G. 6 cmH<sub>2</sub>O continuous positive airway pressure versus conventional oxygen therapy in severe viral bronchiolitis: a randomized trial. *Pediatr Pulmonol*. 2013;48:45-51
42. Essouri S, Carroll C; Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Noninvasive support and ventilation for pediatric acute respiratory distress syndrome: proceedings from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med* 2015;16:S102-10
43. Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. *Pediatr Crit Care Med*. 2015;16:428-39
44. Muñoz-Bonet JI, Flor-Macián EM, Brines J, Roselló-Millet PM, Cruz Llopis M, López-Prats JL, Castillo S. Predictive factors for the outcome of non-invasive ventilation in pediatric acute respiratory failure. *Pediatr Crit Care Med* 2010; 11: 675–680

45. Serpa Neto A, Hemmes SN, Barbas CS, Beiderlinden M, Fernandez-Bustamante A, Futier E, Hollmann MW, Jaber S, Kozian A, Licker M, Lin WQ, Moine P, Scavonetto F, Schilling T, Selmo G, Severgnini P, Sprung J, Treschan T, Unzueta C, Weingarten TN, Wolthuis EK, Wrigge H, Gama de Abreu M, Pelosi P, Schultz MJ; PROVE Network investigators. 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;2:1007-1015
46. Jaber S, Chanques G, Sebbane M, Salhi F, Delay JM, Perrigault PF, Eledjam JJ. Noninvasive positive pressure ventilation in patients with respiratory failure due to severe acute pancreatitis. *Respiration* 2006;73:166-72
47. Lefebvre A, Lorut C, Alifano M, Dermine H, Roche N, Gauzit R, Regnard JF, Huchon G, Rabbat A. Noninvasive ventilation for acute respiratory failure after lung resection: an observational study. *Intensive Care Med* 2009;35:663-70
48. Squadrone V, Coia M, Cerutti E, et al; Piedmont Intensive Care Units Network. Continuous positive airway pressure for treatment of postoperative hypoxemia: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2005;293:589-595
49. Ferreyra GP, Baussano I, Squadrone V, Richiardi L, Marchiaro G, Del Sorbo L, Mascia L, Merletti F, Ranieri VM. Continuous positive airway pressure for treatment of respiratory complications after abdominal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Ann Surg*. 2008;247:617-26
50. Aguiló R, Togores B, Pons S, Rubí M, Barbé F, Agustí AG. Noninvasive ventilatory support after lung resectional surgery. *Chest* 1997;112:117-21
51. Khirani S, Bersanini C, Aubertin G, Bachy M, Vialle R, Fauroux B. Non-invasive positive pressure ventilation to facilitate the post-operative respiratory outcome of spine surgery in neuromuscular children. *Eur Spine J* 2014;23:S406-11
52. Milesi C, Essouri S, Pouyau R, Liet JM, Afanetti M, Portefaix A, Baleine J, Durand S,

Combes C, Douillard A, Cambonie G; Groupe Francophone de Réanimation et d'Urgences Pédiatriques (GFRUP). High flow nasal cannula (HFNC) versus nasal continuous positive airway pressure (nCPAP) for the initial respiratory management of acute viral bronchiolitis in young infants: a multicenter randomized controlled trial (TRAMONTANE study). *Intensive Care Med.* 2017;43:209-216

53. Essouri S, Chevret L, Durand P, Haas V, Fauroux B, Devictor D. Noninvasive positive pressure ventilation: five years of experience in a pediatric intensive care unit. *Pediatr Crit Care Med* 2006;7(4):329-3

54. Mayordomo-Colunga J, Medina A, Rey C, Díaz JJ, Concha A, Los Arcos M, Menéndez S. Predictive factors of non invasive ventilation failure in critically ill children: a prospective epidemiological study. *Intensive Care Med* 2009;35:527-36

55. Kneyber MC. Intraoperative mechanical ventilation for the pediatric patient. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2015;29:371-9



