

Guillaume Riffard<sup>a</sup>  
Alain Jouve  
Pierre Labeix

## Que faire en cas d'inefficacité de la toux ? Intérêt et modalités d'utilisation du Cough-Assist<sup>®</sup>

*What can be done when cough is ineffective? Usefulness and modalities of Cough-Assist<sup>®</sup>*

Le Cough-Assist<sup>®</sup> est de plus en plus utilisé en pratique courante de kinésithérapie respiratoire. Les publications vont se multiplier sur son utilisation habituelle et son intérêt clinique.



### Résumé

L'inefficacité de la toux expose les patients restrictifs sévères à l'encombrement pulmonaire. Pour y remédier, les techniques d'aide à la toux disponibles sont, par ordre croissant d'assistance, les aides manuelles à l'expiration, les techniques instrumentales d'hyperinsufflation et enfin les techniques d'insufflation-exsufflation mécaniques réalisées avec le Cough-Assist<sup>®</sup>. L'article décrit les indications et l'utilisation pratique du Cough-Assist<sup>®</sup>, aussi bien à domicile qu'en milieu spécialisé: interface (invasive et non invasive), réglage des pressions inspiratoire et expiratoire, durée des séances. Le Cough-Assist<sup>®</sup> permet une augmentation du débit de pointe à la toux qui favorise le désencombrement permettant des séances plus efficaces et moins fatigantes.

**Niveau de preuve:** non adapté

### MOTS-CLÉS

Toux – Trouble ventilatoire restrictif sévère – Aide instrumentale – Neuro-musculaire – Cough-Assist<sup>®</sup> (Mechanical Insufflation-Exsufflation MI-E)

© 2010, Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

### Summary

Ineffective cough can raise a risk of poor airway clearance. To avoid this risk, technical aids are available to assist cough. In increasing order they include, manual expiration aids, instrumental insufflation techniques and finally mechanical insufflation-exsufflation using Cough-Assist<sup>®</sup>. This article describes the indications and practical application of Cough-Assist<sup>®</sup> for home care and in specialized centers: interface (invasive and non invasive units), inspiratory and expiratory pressure settings, duration of sessions. Cough-Assist<sup>®</sup> enables increased peak cough flow favoring airway clearance enabling longer less tiresome sessions.

**Level of evidence:** not applicable

### KEYWORDS

Cough disorders – Severe ventilator restriction – Instrumental aid – Neuromuscular – Cough-Assist<sup>®</sup> (Mechanical Insufflation-Exsufflation MI-E)

© 2010, Elsevier Masson SAS. All rights reserved

L'encombrement et l'inefficacité de la toux sont des causes majeures de mortalité et de morbidité des patients atteints de pathologies respiratoires restrictives sévères [1, 2]. Cet encombrement n'est pas nécessairement lié à la présence de sécrétions anormales en quantité et en qualité. Le déficit de la pompe ventilatoire peut en effet limiter l'évacuation des sécrétions normalement produites par la muqueuse bronchique [3].

### Causes d'inefficacité de la toux

La toux physiologique comprend trois phases: *inspiration* (volume inspiratoire pré-tussif), *compression* nécessitant une fermeture correcte de la glotte associée à un début

de contraction des abdominaux, *expulsion* par ouverture brutale de la glotte associée à la poursuite de l'effort expiratoire [4] (figure 1). L'inefficacité de la toux peut donc

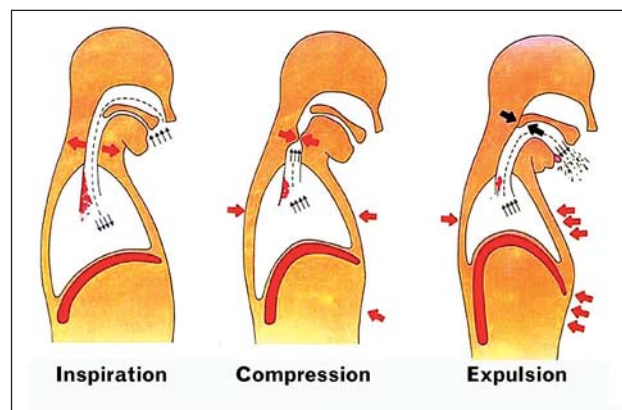


Figure 1. Le mécanisme de la toux.

Masseurs Kinésithérapeutes  
Service de Médecine Physique  
et de Réadaptation, CHU  
de Saint-Étienne, Hôpital Nord  
42055 Saint-Étienne cedex 2.  
Auteur correspondant :  
Guillaume Riffard  
guillaume.riffard@orange.fr

Article reçu le 04/06/2009  
Accepté le 08/02/2010



**Figure 2.** Air-stacking réalisé à l'aide d'un ballon insufflateur manuel.

être le résultat de différents facteurs, isolés ou associés les uns aux autres [5]:

- diminution d'amplitude de la phase inspiratoire due à une faiblesse des muscles inspiratoires et/ou à une diminution de la souplesse thoraco-pulmonaire;
- insuffisance de contrôle glottique, notamment dans les pathologies avec atteinte bulbaire (sclérose latérale amyotrophie, etc.);
- faiblesse des muscles expiratoires.

La mesure du débit expiratoire de pointe (DEP) à la toux est importante. Un niveau inférieur à 180 l/min est le signe d'une toux inefficace (le DEP normal est de l'ordre de 600 à 700 l/min). Cependant, il a été montré qu'un DEP à la toux inférieur à 270 l/min en état stable peut descendre rapidement à moins de 160 l/min en cas d'événement aigu intercurrent [2, 3, 6]. Ce seuil de 270 l/min est donc important à rechercher pour instaurer les aides techniques nécessaires.

### Moyens d'aide à la toux

L'aide à la toux peut prendre différentes formes. La plus simple à instaurer est l'aide manuelle expiratoire par compression thoracique et/ou abdominale (*huffing*).

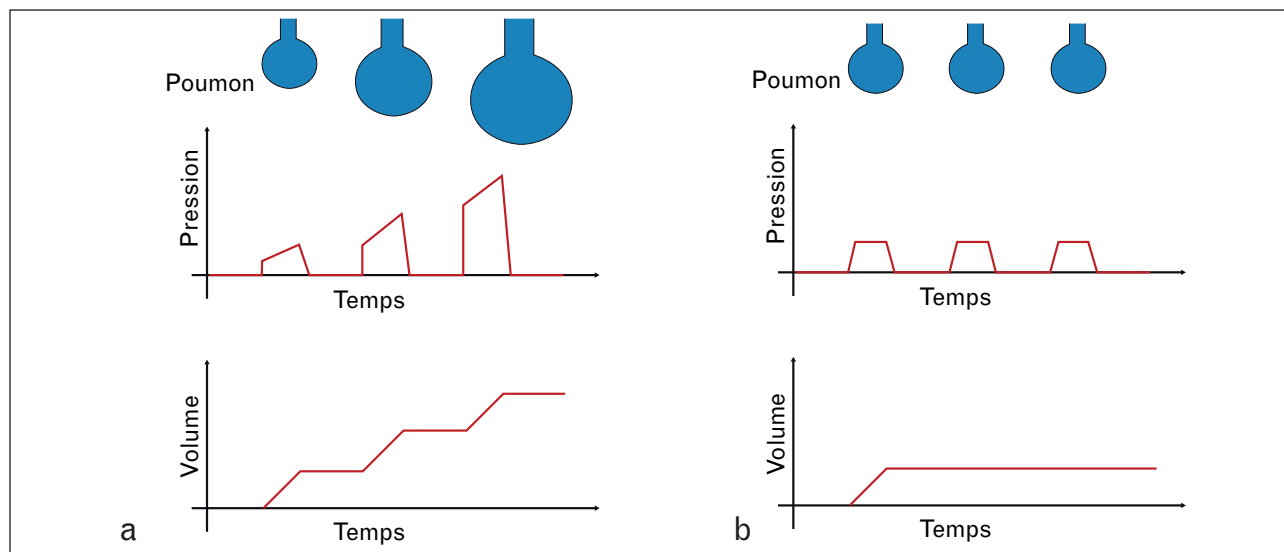
En cas de déficit important, cette seule aide manuelle ne suffit généralement pas à restaurer une toux efficace [7]. L'aide instrumentale devient alors indispensable. Les premières techniques à envisager sont des aides à l'inspiration, permettant d'augmenter le volume pulmonaire pré-tussif. Le ballon insufflateur manuel, le relaxateur de pression (IPPB, ou plus actuellement renommé mobilisateur thoracique) ou un respirateur pour la ventilation invasive ou non invasive permettent une insufflation mécanique [8] (*figure 2*). Le but est d'administrer passivement au patient un volume d'air lui permettant de dépasser sa capacité vitale spontanée.



**Figure 3.** Une technique artificielle pour réaliser l'air-stacking, sur un respirateur volumétrique avec un circuit monobranché, consiste à pincer le tuyau de la valve expiratoire, sur 2 ou 3 cycles successifs.

Le volume d'air inspiré peut être augmenté en une fois, ou sur plusieurs cycles: on parle alors « d'empilage » successif de volume courant ou d'*air-stacking*. La technique consiste à stocker plusieurs volumes courants administrés successivement sans expirer entre les insufflations. Le patient prend un premier volume d'air, ferme la glotte, sans expirer, en attendant le volume suivant, qu'il ajoute au premier. Le patient peut ainsi empiler 2 à 3 volumes courants. Cette méthode nécessite un très bon contrôle glottique (ou une intervention sur le circuit expiratoire en cas de ventilation invasive) (*figure 3*). Cet *air-stacking* ne peut être réalisé qu'avec le ballon insufflateur manuel ou un respirateur réglé sur un mode volumétrique, qui permet d'augmenter la pression inspiratoire à chaque volume supplémentaire (*figure 4*). En effet, l'augmentation de volume entraîne une augmentation de la pression de rétraction élastique du système thoracopulmonaire qui a perdu de sa souplesse avec l'évolution de la pathologie restrictive. Chaque volume supplémentaire nécessite donc plus de pression pour être administré. Avec l'IPPB ou un respirateur réglé sur un mode pressionnel, l'insufflation s'arrête lorsque le niveau de pression réglé est atteint. L'augmentation de la capacité pulmonaire se déroulera donc sur un seul cycle. Pour obtenir un volume plus grand, il faudra augmenter la pression inspiratoire réglée sur la machine.

Ces techniques d'insufflation permettent d'augmenter de façon importante le DEP à la toux [9]. Elles seront avantageusement associées aux manœuvres expiratoires manuelles. Lorsque cette aide instrumentale inspiratoire s'avère malgré tout insuffisante (limitations thoracopulmonaires telles qu'elles ne permettent pas d'augmenter suffisamment les volumes inspiratoires, fatigue importante lors d'une pathologie intercurrente...), il faut envisager d'aider le patient sur le temps inspiratoire et sur le temps expiratoire



**Figure 4.** a) en mode volumétrique, la consigne donnée à la machine est d'envoyer un volume prédéterminé. La machine adapte la pression nécessaire pour délivrer ce volume. Lors de l'air-stacking, les volumes s'ajoutent car la machine (ou la main du thérapeute qui utilise un ballon insufflateur manuel) augmente la pression à chaque cycle. b) En mode pressionnel, la consigne donnée à la machine est d'arrêter l'insufflation lorsque la pression prédéterminée est atteinte. Si l'on tente d'empiler plusieurs volumes, la machine s'arrête au même niveau de pression que le cycle précédent, ce qui ne permet pas d'aller plus loin dans la capacité pulmonaire.

[9] (tableau 1). On parle alors d'insufflation-exsufflation mécanique (mechanical insufflation-exsufflation (MI-E). Le Cough-Assist® (Philips Respironics, Murrysville, Pennsylvania) permet cette technique.

**Insufflation-exsufflation mécanique (mechanical insufflation-exsufflation (MI-E))**

La MI-E est une assistance mécanique à la toux. Elle consiste en une aide à l'inspiration en pression positive (hyperinsufflation) immédiatement suivie d'une brusque aspiration en pression négative (hyperexsufflation). L'intérêt de la MI-E est d'améliorer l'efficacité de la toux [10] des patients, mais aussi de raccourcir les séances de désencombrement [11], au prix d'un moindre effort: moins de baisse de SpO<sub>2</sub>, moins de sensation de dyspnée [10]. La MI-E peut-être utilisée aussi bien chez l'adulte que chez l'enfant (notre plus jeune patient avait 4 mois), avec des réglages différents [12-14]. Bien que la littérature la plus riche décrive l'emploi de la MI-E dans les maladies neuromusculaires, cette technique est intéressante chez tous les patients ayant une toux inefficace due à un affaiblissement

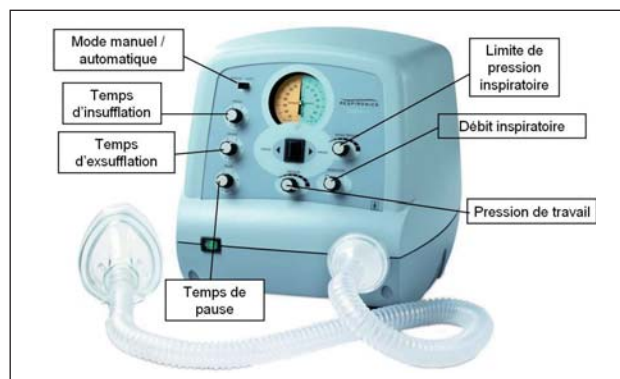
**Tableau 1.** Tableau comparatif des débits expiratoires de pointe à la toux obtenus avec différentes techniques chez un patient ayant un DEP à la toux spontanée inférieur à 180 l/min (d'après Bach [9]).

Ventilation spontanée + pressions manuelles	200 l/min
Ventilation non invasive + pressions manuelles	240 l/min
Relaxation de pression/Air Stacking + pressions manuelles	300 l/min
Cough-Assist® + pressions manuelles	448 l/min

général (en réanimation, en post-opératoire, etc.). Les limites de la technique semblent être le syndrome obstructif. Sivasothy *et al.* décrivent en effet chez des patients bronchiteux chroniques des DEP à la toux inférieurs après MI-E par rapport à ceux spontanément obtenus [7]. Toutefois, une étude montre l'intérêt de la MI-E chez le BPCO [10]: amélioration de la SpO<sub>2</sub>, diminution de la dyspnée. Bien que les valeurs des paramètres de la MI-E soient patient-dépendants, nous allons décrire les réglages de cet appareil (figure 5).

**L'interface**

La MI-E peut être utilisée par voie invasive ou non-invasive. Le masque naso-buccal semble l'interface de choix



**Figure 5.** Paramètres réglables sur le modèle de Cough-Assist® avec mode automatique. Noter la présence du filtre antibactérien sur le circuit.

## Pratique

pour une utilisation non-invasive. L'embout buccal peut être employé, mais le contrôle de l'étanchéité lors de la phase expiratoire devient compliqué.

L'utilisation par voie invasive (sonde d'intubation, canule de trachéotomie) est aussi très intéressante. Selon certains auteurs, la MI-E, par rapport à l'aspiration conventionnelle, est plus efficace et mieux tolérée par les patients [15, 16]. Le ballonnet doit être gonflé afin de limiter les fuites.

Le circuit comporte systématiquement un filtre antibactérien, placé immédiatement à la sortie de la machine.

### Le mode utilisé : automatique ou manuel

Cette technique peut être utilisée en mode manuel ou en mode automatique. Nous préférons débiter l'emploi de la MI-E en mode manuel, plus confortable pour s'initier à la technique. Le bouton central permet de passer de la phase inspiratoire (bouton vers la droite) à la phase expiratoire (bouton vers la gauche) au rythme du patient. Nous l'utilisons préférentiellement avec les enfants [12].

Le mode automatique donne l'avantage de libérer une main du thérapeute, ce qui permet de compléter la technique d'un appui thoracique ou abdominal, ou de maintenir la tête du patient lorsque l'on applique le masque, situation bien souvent nécessaire lors des séances réalisées au fauteuil. Les réglages disponibles sont : temps inspiratoire, temps expiratoire et temps de pause. Des auteurs préconisent de débiter avec les différents temps réglés à 2 secondes [4]. Il faut ensuite les adapter au ressenti du patient et à l'effet obtenu : le temps inspiratoire doit être suffisant pour obtenir une bonne expansion thoracopulmonaire, le temps expiratoire doit entraîner un effort de toux effi-

cace. Ce mode automatique s'avère parfois intéressant lors d'une utilisation en l'absence d'un professionnel entraîné à la technique : à domicile, en établissement médicosocial où l'équipe médico-éducative prend le relais de la prise en charge respiratoire.

### La pression inspiratoire et expiratoire

Les pressions positive et négative sont réglables de + 60 à - 60 cm H<sub>2</sub>O (figures 6 et 7). Les réglages seront très différents d'un patient à l'autre, et il n'est pas possible de définir des réglages standards. Il est préférable de débiter la séance avec des pressions faibles (+15 à + 20 cmH<sub>2</sub>O, - 20 à - 25 cmH<sub>2</sub>O) pour éviter de rebuter le patient.

La pression inspiratoire sera augmentée afin d'obtenir une bonne expansion thoraco-pulmonaire. Le patient doit se laisser insuffler le plus passivement possible par la machine. Il s'avère parfois intéressant d'ajouter un contre-appui abdominal, manuel ou à l'aide d'une sangle pour améliorer cette expansion thoracique. La connaissance du type d'atteinte musculaire et l'observation clinique de la ventilation lors des premières insufflations, ainsi que son évolution au cours de la séance doivent nous guider pour envisager l'utilisation de ces contre-appuis [17].

En cas de paralysie diaphragmatique, la sangle abdominale est contre-indiquée. En cas de paralysie isolée des abdominaux, la ptose abdominale en position assise perturbe l'appui diaphragmatique au niveau du centre phrénique, ce qui entraîne une mauvaise ventilation des bases pulmonaires par hypomobilités des côtes inférieures (les signes sont moindres en position couchée). La ceinture peut alors être utilisée en position assise. Son



**Figure 6.** Réglage de la pression d'exsufflation (sur un modèle manuel de Cough-Assist®, mais la technique est strictement identique sur le modèle automatique). Boucher l'extrémité du circuit avec des compresses, tourner la mollette centrale vers « Exhale ». Tout en maintenant cette mollette, régler le niveau de dépression souhaitée à l'aide du bouton de réglage de la pression de travail.



**Figure 7.** Régler ensuite le niveau de pression inspiratoire en tournant la mollette centrale vers « Inhale ». Adapter le niveau de pression avec le bouton de limite de pression inspiratoire.

Que faire en cas d'inefficacité de la toux ?

utilisation en position couchée peut augmenter l'expiration et la toux, mais au prix d'un travail diaphragmatique augmenté (à évaluer en fonction de la fatigue du patient).

En cas de paralysie abdominale et intercostale (amyotrophie spinale infantile), avec diaphragme conservé, la ceinture sera utilisée uniquement lors des séances d'hyperinsufflations. En effet, en dehors de ces séances, la gaine limiterait l'expansion abdominale et réduirait le jeu diaphragmatique, entraînant une baisse de la capacité vitale. Lors des hyperinsufflations, la gaine permet de localiser l'expansion pulmonaire au thorax supérieur, généralement déformé et peu mobile. Lors de l'expiration, l'élasticité de la gaine améliore la toux.

La dépression expiratoire sera réglée pour obtenir une toux suffisante permettant d'évacuer les sécrétions. Mais elle ne doit pas être excessive, au risque d'entraîner une fermeture glottique précoce. Le patient doit être encouragé verbalement à tousser. Une bonne communication permettra une bonne coordination du passage de l'inspiration à l'expiration, véritable clé de l'efficacité de la technique. L'usage de ce type d'appareil exige une éducation du patient qui doit notamment garder la glotte ouverte à l'expiration.

On retrouve dans la littérature de bons résultats avec des pressions faibles (+ 30 à - 30 cmH<sub>2</sub>O) [5, 7, 13, 18]. Mais d'autres auteurs utilisent des pressions supérieures: + 40 cmH<sub>2</sub>O à - 60 cmH<sub>2</sub>O [9, 14, 19], notamment lorsque la compliance diminue et/ou que les résistances augmentent (par exemple lors de l'évolution de la pathologie restrictive, ou lors de l'utilisation par voie invasive où les résistances sont augmentées du fait de la présence du tube endotrachéal).

### Mise en garde

Le bouton de réglage de la pression est extrêmement mobile. L'augmentation malencontreuse de la pression (lors du nettoyage de la machine, par le thérapeute pendant une séance, etc.) n'est pas rare. Il est donc impératif de vérifier que le niveau de pression correspond au niveau souhaité avant de débiter une MI-E: déconnecter l'interface, boucher manuellement le tuyau et vérifier la pression sur le manomètre lors d'une manœuvre inspiratoire et expiratoire.

### Le débit inspiratoire

L'appareil offre le choix entre deux débits inspiratoires. Le débit lent est d'environ 3 l/min, le débit rapide d'environ 10 l/min. Nous utilisons le débit lent en première intention. Le principe est d'obtenir une technique inspiratoire lente qui limiterait l'asynchronisme ventilatoire en permettant une meilleure répartition de l'air entre les zones pulmonaires saines et encombrées. Cependant, si le temps de la phase inspiratoire du patient est trop court pour per-

mettre une bonne expansion thoracique, il faut tourner le bouton vers le débit inspiratoire le plus élevé.

### En pratique

Nous enchaînons généralement 4 à 5 cycles de MI-E, suivis d'un temps de repos pour ne pas épuiser le patient. Les 2-3 premiers cycles sont des cycles d'hyperinsufflations et d'exsufflations pendant lesquels le patient doit réaliser une augmentation du flux expiratoire. Les 2-3 derniers cycles sont des cycles d'hyperinsufflations enchaînés par un effort actif de toux de la part du patient lors de l'exsufflation.

La durée de la séance dépend de l'encombrement du patient et de son état de fatigue. Une utilisation au quotidien à domicile peut ne durer que quelques minutes et être assimilée à une toilette broncho-pharyngée. En cas d'encombrement plus important, la séance sera poursuivie plus longuement. Si au terme de 30 minutes d'effort l'encombrement n'est pas contrôlé, il sera préférable de répéter plusieurs séances au cours de la journée afin de limiter la fatigue du patient.

Les changements de position lors des séances de désencombrement peuvent être utilisés pour permettre un travail des différentes zones pulmonaires: position assise, décubitus, latérocubitus. Mais ils doivent être adaptés à la pathologie et à la tolérance du patient. En cas d'atteinte diaphragmatique, les patients seront préférentiellement installés en position assise afin de limiter la remontée des viscères vers le thorax. En cas d'atteinte des muscles inspiratoires accessoires avec diaphragme conservé (amyotrophie spinale infantile), les patients seront plutôt installés en position couchée, limitant l'influence de la masse thoracique immobile.

L'humidification des sécrétions est un point capital. La surveillance de l'hydratation du patient est indispensable. Les aérosols de sérum physiologique peuvent avantageusement précéder la séance. La simple instillation de sérum physiologique dans les narines du patient juste avant les insufflations-exsufflations nous semble un moyen simple, aussi bien à domicile qu'en milieu spécialisé, pour humidifier le carrefour oropharyngé et faciliter ainsi la mobilisation des sécrétions.

La MI-E peut aussi permettre une désobstruction des voies aériennes supérieures: passivement lors de la phase expiratoire, ou en complément d'un mouchage antérograde actif du patient. Là aussi, l'instillation de sérum physiologique est une aide précieuse.

En cas d'encombrement des voies aériennes périphériques, d'autres techniques de drainage doivent compléter l'évacuation des gros troncs obtenue par la MI-E: technique expiratoire lente, percussionnaire [20-22].

### Les précautions d'usage

Les séances de MI-E seront préférentiellement effectuées à distance des repas.

## Pratique

La surveillance clinique du patient lors des séances est importante. À domicile, l'essoufflement, l'apparition d'une pâleur, d'une fatigue sont des signes de mauvaise tolérance. Il convient alors d'en référer au médecin traitant ou au centre spécialisé. Lors d'un épisode de décompensation, à l'hôpital, il semble raisonnable de monitorer la saturation en oxygène. En effet, les signes de détresse respiratoire sont souvent très discrets du fait de la faiblesse des muscles respiratoires, et la simple surveillance clinique peut être faussement rassurante. En cas d'hypoxie, il est possible d'ajouter de l'oxygène sur le circuit grâce à un raccord intercalé sur le circuit (figure 8). Nous alternons alors les manœuvres de MI-E avec des temps de repos en ventilation non-invasive ou invasive (figure 9). Dans ces situations aiguës, deux personnes sont souvent nécessaires pour réaliser une séance efficace, entraînant une fatigue moindre du patient. Une personne s'occupe de la gestion de la MI-E: tenir le masque et déclencher les cycles inspiratoire et expiratoire, pendant qu'une autre réalise des manœuvres expiratoires manuelles sur le thorax et/ou l'abdomen du patient.

L'utilisation de cette technique par l'entourage du patient est tout à fait envisageable. Une éducation préalable est cependant primordiale avant d'envisager l'installation d'un Cough-Assist® à domicile. Des repères sont alors notés sur l'appareil afin de définir les réglages à utiliser (figure 10). Cette éducation doit être réalisée chez un patient en état stable.

### Limites d'utilisation

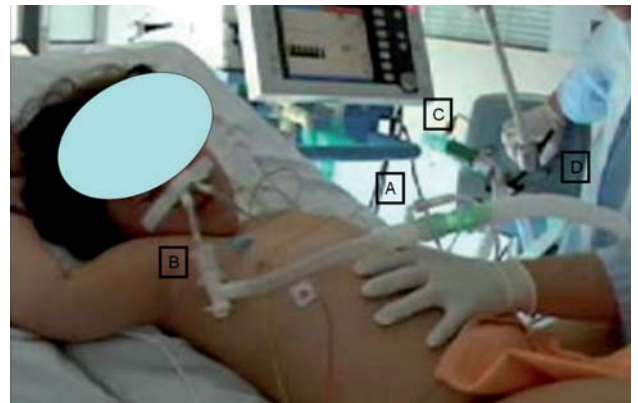
Le manque de coopération du patient peut être un frein à l'emploi de la MI-E, notamment par une fermeture glottique lors de l'expiration. Il nous semble cependant nécessaire d'essayer cette technique en prenant le temps d'une éducation plus longue.



**Figure 8.** Lors de situations bien particulières, il est nécessaire de rajouter de l'oxygène dans le circuit. Différents raccords peuvent alors être utilisés.

Ces problèmes glottiques apparaissent aussi malheureusement lors des atteintes bulbaires. S'ils deviennent importants, l'utilisation de la MI-E devient difficile (mais doit tout de même être essayé [23], notamment en diminuant les débits et les pressions) et la question de la trachéotomie doit être envisagée [1].

La MI-E ne doit pas être utilisée chez le patient hypotendu ou présentant une hémodynamique instable non monitorée et en cas d'hémoptysie importante [1]. Le pneumothorax non drainé est une contre indication absolue à l'emploi de la MI-E.



**Figure 9.** MI-E par voie invasive. En plus du désencombrement réalisé, la séance par voie invasive permet d'éduquer le patient à la technique avant l'extubation. A : raccord à oxygène. B : sonde d'intubation. C : respirateur déconnecté du patient. D : MI-E en mode manuel.



**Figure 10.** Pour une utilisation à domicile, nous indiquons les réglages avec des repères collés sur l'appareil.

## Conclusion

La MI-E nous semble une technique indispensable lors des situations d'encombrement des patients restrictifs sévères. La bibliographie est d'ailleurs riche pour estimer qu'elle permet, en association avec la ventilation non-invasive [24, 25], de diminuer les hospitalisations [19], de prévenir les épisodes de décompensation respiratoire [2, 6, 12, 25-27] et qu'elle permet de faciliter l'extubation et d'éviter le recours à la trachéotomie au décours de ces épisodes aigus [18, 28-31].

## RÉFÉRENCES

- Chatwin M. How to use a mechanical insufflator-exsufflator «cough assist machine». *Breathe* 2008;4:320-9.
- Bach JR, Ishikawa Y, Kim H. Prevention of pulmonary morbidity for patients with Duchenne muscular dystrophy. *Chest* 1997;112:1024-8.
- Modalités pratiques de la ventilation non invasive en pression positive, au long cours, à domicile, dans les maladies neuromusculaires *Rev Mal Respir* 2006;23:15-40.
- Toussaint M, Steens M, Soudon P. L'insufflation-exsufflation (Cough-Assist® et Pegaso®) : bases physiologiques, indications et recommandations pratiques. *Réanimation* 2009;18:137-45.
- Chatwin M, Ross E, Hart N, Nickol AH, Polkey MI, Simonds AK, *et al.* Cough augmentation with mechanical insufflation/exsufflation in patients with neuromuscular weakness. *Eur Respir J* 2003; 21:502-8.
- American Thoracic Society Documents, Respiratory Care of the Patient with Duchenne Muscular Dystrophy. *ATS Consensus Statement* 2004.
- Sivasothy P, Brown L, Smith IE, Shneerson JM. Effect of manually assisted cough and mechanical insufflation on cough flow of normal subjects, patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and patients with respiratory muscle weakness. *Thorax* 2001;56:438-44.
- Kang SW, Bach JR. Maximum insufflation capacity. *Chest* 2000;118:61-5.
- Bach JR. Mechanical insufflation-exsufflation: a comparison of peak expiratory flows with manually assisted and unassisted coughing techniques. *Chest* 1993;104:1553-62.
- Winck JC, Gonçalves M, Cristina L. Effect of mechanical insufflation-exsufflation on respiratory parameters for patients with chronic airway secretion encumbrance. *Chest* 2004;126:774-780.
- Chatwin M, Simonds AK. The addition of mechanical insufflation/exsufflation shortens airway-clearance sessions in neuromuscular patients with chest infection. *Respir Care* 2009 Nov;54(11):1473-9.
- Bach JR, Niranjana V, Weaver B. Spinal muscular atrophy type 1: a noninvasive respiratory management approach. *Chest* 2000;117:1100-5.
- Miske LJ, Hickey EM, Kolb SM, Weiner DJ, Panitch HB. Use of the mechanical in-exsufflator in pediatric patients with neuromuscular disease and impaired cough. *Chest* 2004;125:1406-12.
- Fauroux B, Guillemot N, Aubertin G, Nathan N, Labit A, Clément A, *et al.* Physiologic benefits of mechanical insufflation-exsufflation in children with neuromuscular diseases. *Chest* 2008;133:161-8.
- Garstang SV, Kirshblum SC, Wood KE. Patient preference for in-exsufflation for secretion management with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2000;23:80-5.
- Sancho J, Servera E, Vergara P, Marin J. Mechanical insufflation-exsufflation versus tracheal suctioning via tracheostomy tubes for patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Am J Phys Med Rehabil* 2003;82:750-3.
- Ledoux P, Larroque A. Kinésithérapie de l'enfant paralysé. Coll. kinésithérapie pédiatrique, Masson 1995.
- Vianello A, Corrado A, Arcaro G, Gallan F, Ori C, Minuzzo M *et al.* Mechanical insufflation-exsufflation improves outcomes for neuromuscular disease patients with respiratory tract infections. *Am J Phys Med Rehabil* 2005; 84:83-8.
- Tzeng AC, Bach JR. Prevention of pulmonary morbidity for patients with neuromuscular disease. *Chest* 2000;117:1390-6.
- Reardon CC, Christiansen D, Barnett E, Cabral HJ. Intrapulmonary percussive ventilation vs incentive spirometry for children with neuromuscular disease. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2005;159:526-31.
- Toussaint M, De Win H, Steens M, Soudon P. Effect of intrapulmonary percussive ventilation on mucus clearance in Duchenne muscular dystrophy patients: a preliminary report. *Respir Care* 2003;48:940-7.
- Birnkrant DJ, Pope JF, Lewarski J, Stegmaier J, Besunder JB. Persistent pulmonary consolidation treated with intrapulmonary percussive ventilation: a preliminary report. *Pediatr Pulmonol* 1996;21:246-9.
- Sancho J, Servera E, Diaz J, Marin J. Efficacy of mechanical insufflation-exsufflation in medically stable patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Chest* 2004;125:1400-5.
- Simonds A. Recent advances in respiratory care for neuromuscular disease. *Chest* 2006;130:1879-86.
- Bach JR. Amyotrophic lateral sclerosis prolongation of life by noninvasive respiratory aids. *Chest* 2002;122:92-8.
- Gomez-Merino E, Bach JR. Duchenne muscular dystrophy: prolongation of life by noninvasive ventilation and mechanically assisted coughing. *Am J Phys Med Rehabil* 2002;81:411-5.
- Bach JR, Alba AS. Noninvasive options for ventilatory support of the traumatic high level quadriplegic patient. *Chest* 1990;98:613-9.
- Servera E, Sancho J, Zafra MJ, Catala A, Vergara P, Marin J. Alternatives to endotracheal intubation for patients with neuromuscular diseases. *Am J Phys Med Rehabil* 2005;84:851-7.
- Bach JR, Gonçalves M. Ventilator weaning by lung expansion and decannulation. *Am J Phys Med Rehabil* 2004;83:560-8.
- Bach JR. Inappropriate weaning and late onset ventilatory failure of individuals with traumatic spinal cord injury. *Paraplegia* 1993;31:430-8.
- Goncalves MR, Bach JR. Mechanical insufflation-exsufflation improves outcomes for neuromuscular disease patients with respiratory tract infections: a step in the right direction. *Am J Phys Med Rehabil* 2005;84:89-91.