

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τεχνητή ύγρανση σε διασωληνωμένο ασθενή

Τσαβουρέλου Αφροδίτη¹, Μπαμπάτσικου Φωτούλα²

1. Φυσικοθεραπεύτρια, MSCP, ΜΕΘ, Γενικό Νοσοκομείο Λευκωσίας
2. Ιατρός, Επίκουρος Καθηγήτρια Νοσηλευτικής Τ.Ε.Ι Αθήνας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τεχνητοί αεραγωγοί παρακάμπτουν τον φυσιολογικό μηχανισμό ύγρανσης και φιλτραρίσματος του αέρα αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες να δημιουργηθούν εμμένουσες εκκρίσεις. Αυτό αυξάνει τον κίνδυνο για ατελεκτασίες και αναπνευστικές λοιμώξεις. Πήγματα, επίσης, μπορεί να σχηματιστούν στον εσωτερικό αυλό του ενδοτραχειακού σωλήνα ή της τραχειοστομίας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το έργο της αναπνοής (WOB) και να μειώνονται οι πιθανότητες επιτυχούς αποσωλήνωσης. Πιθανόν, δε, σταδιακά να οδηγήσουν σε πλήρη απόφραξη του τραχειοσωλήνα.

Για το λόγο αυτό η επιλογή κατάλληλου υγραντήρα για την παροχή τεχνητής ύγρανσης είναι εξέχουσας σημασίας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι υγραντήρων αλλά σήμερα χρησιμοποιούνται οι υδροσκοπικοί Εναλλάκτες Θερμότητας και Υγρασίας (HME) με φίλτρο και οι Θερμαινόμενοι Υγραντήρες (HH), οι οποίοι παρέχουν υγρασία σε μορφή υδρατμών. Όταν χρησιμοποιούνται σωστά, και όχι στις περιπτώσεις που αντενδείκνυνται, οι HME δεν έχουν επιπλοκές και μειώνουν το κόστος νοσηλείας καθώς και τον χρόνο απασχόλησης του προσωπικό. Οι HME είναι καλύτερη επιλογή για μικρής διάρκειας χρήση (<96 ωρών) και κατά την διάρκεια μεταφορών. Οι HH προτιμούνται σε ασθενείς με εμμένουσα υπερκαπνία, χρόνια αναπνευστική ανεπάρκεια και με δυσκολία στον απογαλακτισμό. Οι HH πρέπει να χρησιμοποιούνται σε ασθενείς με μεγάλης διάρκειας μηχανικό αερισμό ή σε ασθενείς που εμπίπτουν στις αντενδείξεις των HME. Ούτε οι HME ούτε οι HH έχουν κατηγορηθεί για αύξηση της πνευμονίας του αναπνευστήρα (VAP).

Λέξεις κλειδιά: Τεχνητή Ύγρανση, όρια τεχνητής ύγρανσης, μηχανικός αερισμός, Εναλλάκτες Θερμότητας και Υγρασίας, Θερμαινόμενοι Υγραντήρες, πνευμονία του αναπνευστήρα

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΑΛΛΗΛΟΓΡΑΦΙΑΣ

*Αφροδίτη Τσαβουρέλου
Κεφαλληνίας 48
Τ.Κ :2107 Αγλάντζια
Λευκωσία - Κύπρος
E-mail:ph2tsav@yahoo.gr*

REVIEW**Humidification for intubated patients**

Tsavourelou Aphrodite¹, Babatsikou Fotoula²

1. Physiotherapist, MSCP, ICU Dept, General Nicosia Hospital, Cyprus
2. MD, PhD, Assistant Professor in Nursing, Technological Educational Institute (TEI) of Athens, Greece

ABSTRACT

Artificial airways bypass the physiological mechanism of humidification and filtration of the inspired air, increasing, therefore, the possibilities of copious secretions production. Copious secretions increase the danger for atelectasis and respiratory infections. Moreover, clots can be shaped in the interior of the endotracheal tube or tracheostomy, resulting in increased work of breathing (WOB) and reduced odds of successful extubation. It is also possible to lead progressively to complete obstruction of the endotracheal tube.

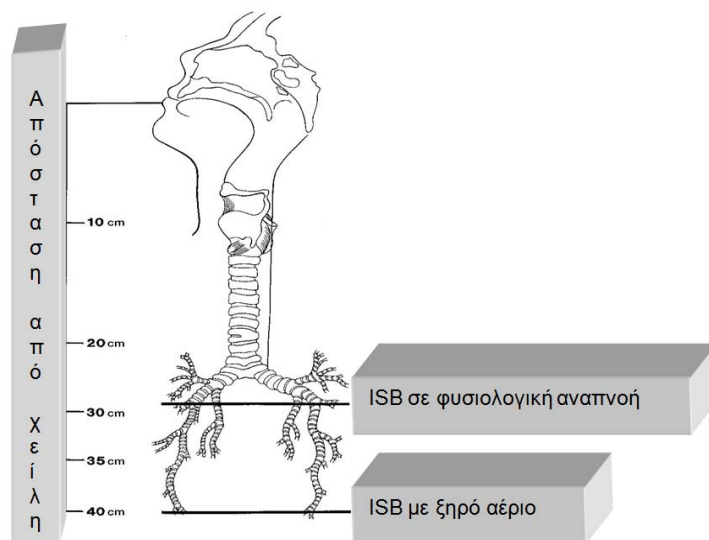
Thus, the choice of a suitable humidification device during mechanical ventilation is of distinguished importance. There are various types of humidifiers. However, hydroscopic Heat and Moisture Exchangers (HMEs) with filter and Heated Humidifiers (HHs), which provide humidity in form of water vapors, are currently used. When they are used correctly, and not in the cases where they are contraindicated, HMEs' do not have complications and they decrease the cost of hospitalization as well as the staff workload. HMEs are better choice for short duration of intubation (<96 hours) and during transports. HHs are preferred for patients with persisting hypercapnia, chronic respiratory failure and difficulty in ventilator weaning. HHs should be used for patients with prolonged duration of mechanical ventilation or patients that HMEs are contraindicated for. Neither HMEs nor HHs have been accused for increased incidences of ventilator associated pneumonia (VAP).

Key words: Humidification, humidification boundaries, mechanical ventilation, Humidity and Moisture Exchangers, Heated Humidifiers, ventilator associated pneumonia

CORRESPONDING AUTHOR*Aphrodite Tsavourelou**48 Kefallinias Street**2107 Aglatzia**Nicosia-Cyprus**E-mail:ph2tsav@yahoo.gr***ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στην φυσιολογική αναπνοή η θερμοκρασία και η υγρασία του αναπνεόμενου αέρα ρυθμίζονται κατά την διάρκεια της πορείας του στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα, δηλ. καθώς περνά από την μύτη, το φάρυγγα, το λάρυγγα και την τραχεία. Ο αέρας περνώντας από τους προαναφερθέντες σχηματισμούς υγραίνεται εξαгонτας υγρασία από την βλέννα που εκκρίνεται στα καλυκοειδή κύτταρα του επιθηλίου του αναπνευστικού συστήματος. Η βλέννα με τη σειρά της ενυδατώνεται και θερμαίνεται από υγρά που εξαγγειώνονται από το επιθήλιο των αεραγωγών και τον αέρα που εξέρχεται από τους πνεύμονες¹. Έτσι, στην φυσιολογική αναπνοή η υγρασία και η θερμότητα του αέρα ρυθμίζονται ώστε λίγο κάτω από τον διαχωρισμό της τραχείας ο αέρας να είναι 100% κορεσμένος με υγρασία και στους 37° C. Αυτό το σημείο

λέγεται και ισοθερμικό όριο κορεσμού (ISB)² (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Θέση του ισοθερμικού ορίου κορεσμού (ISB) κατά την φυσιολογική αναπνοή και κατά την διάρκεια εισπνοής ξηρού αερίου σε ΜΑ. Τροποποιημένο από Branson (1999)³

Ο Μηχανικός Αερισμός (ΜΑ) με ξηρό αέριο μίγμα έχει αρνητικές συνέπειες στο αναπνευστικό σύστημα του ασθενή επειδή

παρακάμπτονται οι φυσιολογικές δομές που προσδίδουν θέρμανση και υγρασία στον αναπνεόμενο αέρα. Συγκεκριμένα, όσο πιο ξηρός είναι ο αέρας που εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα τόσο περισσότερη υγρασία θα αποδώσει η βλέννα για να τον ενυδατώσει. Έτσι αλλάζει η σύσταση της βλέννας, η οποία γίνεται πηχτή και κολλώδης, και χάνεται η υγρή στοιβάδα του κροσσώτου επιθηλίου⁴. Η βλεννοκροσσώτη κάθαρση επηρεάζεται διότι οι κροσσοί δυσκολεύονται να απομακρύνουν την πηχτή βλέννα⁵. Συνεπεία τούτου είναι να μειώνεται ο ρυθμός που πάλλονται οι κροσσοί και με τον καιρό να παραλύουν. Επιπλέον η αλλαγή στο ιξώδες της βλέννας επηρεάζει το βλεννογόνο χιτώνα και προκαλεί διάφορες ιστολογικές βλάβες. Ο μηχανισμός αυτών των βλαβών έχει μελετηθεί και αναλυθεί διεξοδικά στις μελέτες των Chalon et al (1972) και Marfatia et al (1975)^{5,6}. Τέλος, το ISB μετατοπίζεται στην περιφέρεια των πνευμόνων (Εικόνα 1) με αποτέλεσμα το κατώτερο αναπνευστικό να μετατρέπεται σε υγραντήρα κάτι για το οποίο δεν είναι κατασκευασμένο. Επιβαρύνεται έτσι το έργο των αεραγωγών.

Στην κλινική πράξη ο MA με ξηρό αέριο μίγμα ενοχοποιείται για απόφραξη των αεραγωγών ως αποτέλεσμα της αποξήρανσης και σταθεροποίησης της βλέννας. Άρα και για ατελεκτασία, μείωση

της λειτουργικής Υπολειπόμενης Χωρητικότητας και τελικά υποξαιμία⁷⁻⁹. Επιπλέον είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αφυδάτωση, οίδημα, νέκρωση και τελικώς ρήξη με αιμορραγία του βρογχικού επιθηλίου, οπότε και απόφραξη των αεραγωγών από αιματηρά πύγματα. Ειδικά αν το ξηρό αέριο μίγμα εισέρχεται με υψηλή ροή δημιουργείται νεκρωτική τραχειοβρογχίτιδα^{10,11}.

Είναι, λοιπόν, φανερό ότι η τεχνητή ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα κατά την διάρκεια MA με ενδοτραχειακό σωλήνα ή τραχειοστομία επιβάλλεται διότι παρακάμπτεται ο φυσιολογικός μηχανισμός ύγρανσης του αέρα και αυτό μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες στη φυσιολογική λειτουργία των πνευμόνων.

Τεχνητή ύγρανση ορίζεται ως η πρόσθεση θερμότητας και υγρασίας στον αέρα που δίδεται στον ασθενή διαμέσου τεχνητού αεραγωγού κατά την διάρκεια μηχανικής υποστήριξης. Στην κλινική πράξη η τεχνητή ύγρανση επιτυγχάνεται με τη χρήση υγραντήρων.

ΟΡΙΑ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΥΓΡΑΝΣΗΣ

Παρόλο που δεν έχει διευκρινιστεί ξεκάθαρα τι ορίζεται ως υπερβολική και τι ως ελλιπής ύγρανση πρέπει να οριστούν κάποια ασφαλή όρια γιατί οι διάφορες συσκευές ύγρανσης μπορούν να εκθέσουν τον βλεννογόνο σε ένα μεγάλο εύρος υγρασίας και θερμοκρασιών¹²,

μερικές από τις οποίες όντας υπερβολικές μπορεί να προκαλέσουν βλάβες.

Κατά την διάρκεια της μηχανικής αναπνοής, λοιπόν, τα αέρια που εισέρχονται στην τραχεία πρέπει να έχουν τουλάχιστον τις φυσιολογικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας ώστε να μην παρατηρηθούν οι επιπλοκές του MA με ξηρό αέριο μίγμα που προαναφέρθηκαν².

Φυσιολογική θερμοκρασία του αέρα στην τραχεία θεωρείται 32-34° C¹³ και ως φυσιολογική υγρασία αναφέρεται η 100% σχετική υγρασία και 44 mgH₂O/L εισπνεόμενου αέρα απόλυτη υγρασία¹⁴. Η απόλυτη υγρασία, που είναι ευθέως ανάλογη της θερμοκρασίας του αερίου μίγματος, είναι η ποσότητα υδρατμών που εμπεριέχεται στο αέριο¹⁵. Το AARC Clinical Practice Guidelines 1992 προτείνει η απόλυτη υγρασία του εισπνεόμενου αέρα να είναι τουλάχιστον >30mg H₂O/L¹⁶. Η σχετική υγρασία εκφράζεται ως ποσοστό % και βρίσκεται από τον τύπο : Σχετική Υγρασία = (απόλυτη υγρασία) / (μέγιστη δυνατή ποσότητα υδρατμών στο αέριο μίγμα στη δεδομένη θερμοκρασία) X 100¹⁵. Η σχετική υγρασία δεν εξαρτάται από την θερμοκρασία και είναι 100% εάν το αέριο είναι πλήρως κορεσμένο σε υδρατμούς. Πρέπει να επισημανθεί ότι η σχετική υγρασία είναι περισσότερο σημαντική από ότι η απόλυτη υγρασία¹⁷.

Γενικά οι μηχανισμοί βλάβης λόγω αυξημένης ύγρανσης δεν έχουν μελετηθεί ικανοποιητικά. Όταν η θερμοκρασία προκαλεί τον ομοιοστατικό μηχανισμό των αεραγωγών ξεκινά η δυσλειτουργία από το κυτταρικό επίπεδο και τις εκκρίσεις και συνεχίζει σε όλη την αναπνευστική λειτουργία. Όσο πιο έντονη είναι η ενεργοποίηση του ομοιοστατικού μηχανισμού τόσο πιο γρήγορα θα προχωρήσει η δυσλειτουργία. Έχει παρατηρηθεί ότι από τους 37° C και πάνω όσο πιο ζεστό είναι το αέριο τόσο πιο μεγάλος είναι ο κίνδυνος να αφυδατωθεί ο βλεννογόνος και να φράξουν οι ανώτεροι αεραγωγοί¹⁸. Αν η διαφορά της θερμοκρασίας από το φυσιολογικό παρουσιάζεται για μικρό χρονικό διάστημα η οποιαδήποτε βλάβη διορθώνεται εύκολα, έστω και αν η αύξηση της θερμοκρασίας είναι αρκετά μεγάλη. Αναφέρεται, όμως, ότι είναι φρόνιμο να αποφευχθεί να αυξηθεί η μέση θερμοκρασία στην τραχεία πάνω από 43-45° C¹⁹. Πρέπει, βέβαια, να γίνει κατανοητό ότι για να δόσεις τέτοια μεγέθη στην τραχεία σημαίνει ότι η θερμοκρασία στο κύκλωμα του αναπνευστήρα θα είναι μεγαλύτερη²⁰. Αυτές οι θερμοκρασίες (δηλ. 43-45° C) είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τα ανώτερα όρια θερμοκρασιών που διανέμουν οι υγραντήρες σύμφωνα με τα διεθνή στάνταρ. Επιπλέον οι καταγραφές βλάβης στους πνεύμονες που σχετίζονται με

την ύγρανση αφορούν μόνο συσκευές που έχουν εμφανίσει δυσλειτουργία^{21,22}.

Η μέτρηση της υγρασίας και της θερμότητας στους πνεύμονες είναι τώρα εφικτή με ειδικούς αισθητήρες. Δεν είναι δυνατόν, όμως, να εφαρμοστεί στην καθημερινή κλινική πράξη διότι είναι ακριβή και δύσκολα εφαρμόσιμη ²³. Γι αυτό οι χρήστες των υγραντήρων θα πρέπει να βασίζονται στα στοιχεία που δίνονται για τις συσκευές από τις κατασκευάστριες εταιρίες. Επιπλέον, η σύσταση των εκκρίσεων του ασθενή μπορεί να αποτελέσει ένδειξη για την ικανοποιητική ή μη ύγρανση και πρέπει να παρατηρείται συστηματικά²⁴.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΥΓΡΑΝΣΗΣ

Δύο συστήματα χρησιμοποιούνται πλέον για την θέρμανση και την ύγρανση του αέρα σε διασωληνωμένους ασθενείς. Οι Εναλλάκτες Θερμότητας και Υγρασίας (Heat and Moisture Exchangers=HME), οι οποίοι προσφέρουν παθητική ύγρανση²⁵ και οι Θερμαινόμενοι Υγραντήρες (HH=Heat Humidifiers), που εμπίπτουν στην κατηγορία των ενεργητικών υγραντήρων²⁶.

Η ύγρανση με αεροζόλ καθώς και με ενστάλλαξη νερού σε υγρή μορφή μπορεί να καταστεί επικίνδυνη επειδή έχει αποδειχτεί ότι έτσι δίδεται μεγαλύτερη ποσότητα νερού στον αεραγωγό από ότι πρέπει²¹. Η χρήση τους για ύγρανση θα πρέπει να εξαλειφθεί ή να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο.

Νερό στην μορφή υδρατμών είναι η καλύτερη μορφή ύγρανσης γιατί είναι απίθανο να διανεμηθεί τόσο νερό που να μπορεί να προκαλέσει βλάβη στους πνεύμονες²⁷.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Οι Εναλλάκτες Θερμότητας και Υγρασίας (HME), που είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος υγραντήρα λειτουργούν παθητικά αποθηκεύοντας θερμότητα και υγρασία από τον εκπνεόμενο αέρα του ασθενή τα οποία και απελευθερώνουν στον εισπνεόμενο αέρα (παθητικοί υγραντήρες). Υπάρχουν αρκετοί τύποι HME. Στην πιο απλή τους μορφή οι HME αποτελούνται από μια εσωτερική στοιβάδα αλουμινίου και χρησιμοποιούν μόνο τις φυσικές αρχές της ανταλλαγής υγρασίας και θερμότητας. Επειδή όμως αυτή η μορφή είναι η λιγότερο αποτελεσματική παθητική ύγρανση, αφού προσφέρει 10-14 mgH₂O/L σε αναπνεόμενους όγκους (VT) 500-1000mL²⁸, δεν χρησιμοποιείται παρά μόνο κατά την διάρκεια χειρουργείων. Έτσι, οι κατασκευαστές προχώρησαν στην δημιουργία HME με διαφορετικά υλικά ώστε σήμερα η πιο διαδεδομένη μορφή να είναι ο υδροσκοπικός HME που συνδυάζεται με αντιμικροβιακό φίλτρο.

Οι HME, λοιπόν, έχουν σήμερα την μορφή ενός φίλτρου που τοποθετείται στο τέλος του κυκλώματος του αναπνευστήρα και

ενώνεται με τον τραχειοσωλήνα ή με το dead space εάν αυτό παρεμβάλλεται. Όταν ο ασθενής εκπνέει και ο εκπνεόμενος αέρας φτάσει στο υδροσκοπικό (δηλ. αυτό που είναι κατασκευασμένο από υδρόφιλα υλικά) φίλτρο, το νερό υγροποιείται και κατακρατείται εκεί. Κατά την διάρκεια της επόμενης εισπνευστικής φάσης το αέριο ζεσταίνεται και υγραίνεται καθώς περνά κατά μήκος του²⁵. Συγκριτικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι υδροσκοπικοί HME προσφέρουν υγρασία 22-34 mgH₂O/L σε VT 500-1000mL και η πρόσθεση φίλτρου αυξάνει αυτή την υγρασία κατά 1-2 mgH₂O/L²⁹⁻³¹. Υπάρχουν και HME που κατασκευάζονται με υδρόφοβα υλικά τα οποία όμως αποδείχτηκαν αναποτελεσματικά μιας και προσφέρουν πολύ λίγη υγρασία και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται^{32,33}. Οι HME εξαιτίας της ομοιότητας που παρουσιάζουν με την ανθρώπινη μύτη είναι επίσης γνωστοί και ως τεχνητές ή Σουηδικές μύτες.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι που οι HME έχουν καθιερωθεί ως ο πιο συνήθης τρόπος ύγρανσης του αέρα κατά την διάρκεια του MA. Αναλυτικά αναφέρεται ότι οι HME ενώ διατηρούν την ζέστη και την υγρασία του αέριου μίγματος ταυτόχρονα προσφέρουν και προστασία από τα βακτήρια³⁴. Έχουν χαμηλό κόστος³⁵⁻³⁸. Σ αυτό μπορεί να προστεθεί ότι το κύκλωμα του αναπνευστήρα δεν χρειάζεται να αλλάζει

περιοδικά εάν χρησιμοποιείται HME³⁹. Δεν χρειάζονται τεχνική υποστήριξη, ούτε ηλεκτρική ενέργεια και είναι πολύ εύκολοι στην χρήση τους²¹. Αναλυτικά τα πλεονεκτήματα των HME αναφέρονται στον Πίνακα I.

Πίνακας I: Πλεονεκτήματα των Εναλλακτών Θερμότητας και Υγρασίας
Χαμηλό κόστος
Ευκολία στη χρήση
Μικρά, ελαφριά
Μίας χρήσης, δεν χρειάζονται καθάρισμα
Δεν κάνουν θόρυβο
Δεν υπάρχει κίνδυνος αύξησης της ύγρανσης ή της θερμοκρασίας πέραν του φυσιολογικού
Δεν υπάρχει κίνδυνος εγκαύματος ή ηλεκτροπληξίας
Δεν χρειάζονται εξωτερική πηγή ενέργειας, οθόνη θερμοκρασίας ή συναγερμό
Μηδενίζουν την συμπύκνωση νερού στο κύκλωμα
Λειτουργούν ως αντιμικροβιακό φίλτρο
Ελάχιστος φόρτος εργασίας για το νοσηλευτικό προσωπικό

Παρ' όλα αυτά οι HME αυξάνουν τόσο τις εισπνευστικές και όσο και τις εκπνευστικές αντιστάσεις. Η αντίσταση ενός HME εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού του. Όσο αυξάνει η αντίσταση του HME τόσο αυξάνει και το έργο της αναπνοής του ασθενή (WOB)⁴⁰. Αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη ιδιαίτερα σε αυτόματη αναπνοή. Έτσι σε δύσκολο απογαλακτισμό από τον αναπνευστήρα δεν προτιμούμε τους HME⁴¹. Όταν, μάλιστα, φράσουν από αίμα,

εκκρίσεις, υγροποιημένους υδρατμούς η αντίσταση των αεραγωγών και η μέγιστη πίεση των αεραγωγών, το auto-PEEP και WOB αυξάνουν δραματικά⁴²⁻⁴⁴.

Η υγρασία που αποδίδεται από τους HME εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Συγκεκριμένα, εξαρτάται από τον VT, τον χρόνο εισπνοής, την αναπνευστική συχνότητα και την θερμοκρασία. Όσο αυξάνεται ο VT τόσο μειώνεται η υγρασία που αποδίδεται από τους HME. Συγκεκριμένα αν ο VT ανά λεπτό είναι > 10L ο HME παρουσιάζεται αναποτελεσματικός. Έτσι, οι HME δεν χρησιμοποιούνται σε ασθενείς με αυτόματη ή μηχανική αναπνοή που έχουν ανά λεπτό VT > 10L^{12,33}. Αντενδείκνυνται, δε, σε ασθενείς στους οποίους ο εκπνεόμενος όγκος αέρα είναι μικρότερος του 70% του εισπνεόμενου όγκου αέρα¹⁶ (για παράδειγμα σε βρογχοπνευμονικό συρίγγιο, τραχειοοισοφαγικό συρίγγιο, τραχειομαλακία η σε βλάβη ή απουσία του cuff). Το ίδιο ισχύει και για ασθενείς που η θερμοκρασία του σώματος τους είναι κάτω από 32 βαθμούς⁴⁵. Επίσης, η μείωση του χρόνου εισπνοής και η αύξηση της αναπνευστικής συχνότητας μειώνουν την αποδιδόμενη υγρασία. Με βάση αυτή τη λογική, μείωση της εκπνευστικής ροής, όταν για παράδειγμα μειώνεται η ενδοτικότητα του πνεύμονα, θα έχει, επίσης, ως συνέπεια την μείωση της αποδιδόμενης υγρασίας⁴⁶.

Τέλος, πρέπει να αφαιρούνται όταν στο κύκλωμα υπεισέρχεται νεφελοποιητής, διότι οι δύο αυτές συσκευές αλληλοκαταργούν την λειτουργία τους.

Επίσης οι τεχνητές μύτες αυξάνουν τον νεκρό χώρο. Όπως αναφέρεται από διάφορους συγγραφείς, για να αντισταθμίσει η αναπνευστική λειτουργία την αύξηση του νεκρού χώρου, ώστε να μην αυξηθεί το CO₂, είτε πρέπει να αυξηθεί η αναπνευστική συχνότητα είτε ο ανά λεπτό αερισμός ή και τα δύο^{47,48}. Στους ασθενείς που έχουν μειωμένο VT, όπως για παράδειγμα στο ARDS, μειώνοντας τον νεκρό χώρο παρουσιάζεται σημαντική μείωση της PaCO₂⁴⁹. Η απομάκρυνση του HME μειώνει τον νεκρό χώρο του αρρώστου⁵⁰. Αυτό το γεγονός πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για όλους τους ασθενείς με υπερκαπνία.

Επιπλέον, αναφέρεται ότι οι τεχνητές μύτες έχουν υψηλότερο ποσοστό φραγής τραχειοσωλήνα σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους ύγρανσης⁵¹. Για την εμφάνιση αυτού του υψηλότερου ποσοστού εμφάνισης φραγής του τραχειοσωλήνα ενοχοποιείται η αδυναμία των HME να παρέχουν επαρκή ύγρανση^{38,51,52}. Η χρήση των HME πρέπει να αποφεύγεται, λοιπόν, σε ασθενείς με πηχτές, άφθονες ή αιματηρές εκκρίσεις, διότι αυξάνονται δραματικά οι αντιστάσεις και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα φραγής του τραχειοσωλήνα. Παρατηρείται, δε, αυξημένη

χρήση ενστάλαξης ορού μέσα στον τραχειοσωλήνα³⁸, πιθανόν επειδή το προσωπικό παρατηρεί πιο πυκνές εκκρίσεις και φοβάται μη φράξει ο τραχειοσωλήνας. Τέλος, οι χρήστες των ΗΜΕ πρέπει να γνωρίζουν ότι ο συναγερμός χαμηλής πίεσης του αναπνευστήρα πιθανόν να είναι αναποτελεσματικός⁵³.

να αυξηθεί ως και 7 ημέρες αν δεν υπάρχουν εμφανείς λόγοι για αλλαγή του⁵⁴. Ο λόγος είναι ότι η συσκευή δεν αποτελεί μέσο να αναπτυχθούν βακτήρια.

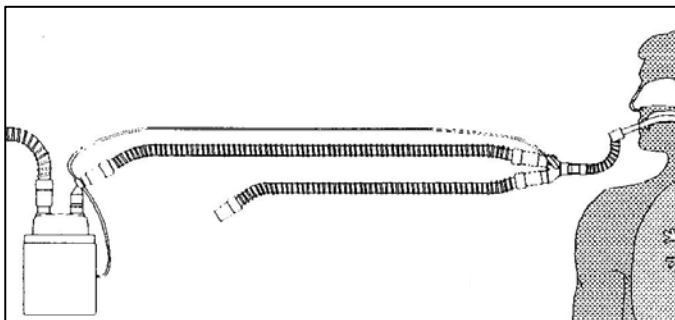
Πάντως τα ΗΜΕ πρέπει να αντικαθίστώνται με ΗΗ σε ασθενείς που μένουν διασωληνωμένοι για περισσότερο από 96 ώρες σύμφωνα με AARC Clinical Practice Guidelines (1992)¹⁶.

ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΟΙ ΥΓΡΑΝΤΗΡΕΣ

Οι θερμαινόμενοι Υγραντήρες (ΗΗ) έχουν την ικανότητα να προσφέρουν ένα μεγάλο εύρος θερμότητας και υγρασίας⁵⁵. Αποτελούνται από κλειστό κύκλωμα θέρμανσης με ηλεκτρική αντίσταση, δοχείο νερού και μονάδα ελέγχου της θερμοκρασίας, η οποία περιλαμβάνει καλώδια, και συναγερμό (Εικόνα 2). Το νερό, που εισάγεται μέσα στο δοχείο, υπό την επίδραση της θερμότητας μετατρέπεται σε υδρατμούς. Ο αποδιδόμενος από τον αναπνευστήρα αέρας, περνώντας μέσα από το δοχείο, μεταφέρει τους υδρατμούς στο εισπνευστικό κύκλωμα και στη συνέχεια στους πνεύμονες του ασθενή κατά την εισπνοή⁵⁶.

Πίνακας II: Μειονεκτήματα των Εναλλακτών Θερμότητας και Υγρασίας
Προσφέρει περιορισμένη υγρασία, παράγοντας μέγιστη σχετική υγρασία της τάξης του 70%
Η κατακράτηση θερμότητας δεν είναι σημαντική
Αυξάνουν τον νεκρό χώρο και τις αντιστάσεις
Φράσσουν από υγρά, αίμα, εκκρίσεις ή νεφελοποιημένα φάρμακα
Πιθανές απώλειες αέρα και αποσύνδεση από τον αναπνευστήρα
Κάποια ΗΜΕ περιέχουν υλικά που μπορεί να ελευθερωθούν με την μορφή μορίων και μετά να εισπνευσθούν από τον ασθενή
Υγρό μπορεί να περάσει δια μέσου του υγροσκοπικού ΗΜΕ και να μολύνει το κύκλωμα του αναπνευστήρα

Οι ΗΜΕ θα πρέπει να αλλάζονται αμέσως μόλις φανούν σημεία εκκρίσεων αίματος ή νερού πάνω τους. Οι λόγοι όπως αναφέρθηκε είναι η αύξηση των πιέσεων και του WOB, καθώς και η μείωση της αποτελεσματικότητάς τους. Αν δεν υπάρχει εμφανής λόγος πρόωρης αλλαγής του, αλλάζεται κάθε 24 ώρες σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών. Μελέτες πάντως έδειξαν ότι ο χρόνος αυτός μπορεί



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση ενός ΗΗ. Ο εκπνευστικός κλάδος, που εδώ εμφανίζεται ελεύθερος, συνδέεται με την υποδοχή "From patient" του αναπνευστήρα. Τροποποιημένο από Branson (1999)³

Ο υγραντήρας αυτός συνδέεται με τον εισπνευστικό κλάδο του κυκλώματος του αναπνευστήρα, ο οποίος μπορεί να εμπεριέχει θερμαινόμενο καλώδιο ή όχι. Αν έχει θερμαινόμενο καλώδιο και είναι σωστά ρυθμισμένος, λοιπόν, δεν πρέπει να εμφανίζεται νερό στον εισπνευστικό κλάδο. Το φυσιολογικό είναι να εμφανιστεί μικρή ποσότητα νερού στον εκπνευστικό κλάδο, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας στα τοιχώματα του κλάδου και το περιβάλλον. Αυτή η ποσότητα νερού παγιδεύεται από την υπάρχουσα υδατοπαγίδα. Υπάρχουν κυκλώματα που έχουν και τους δύο κλάδους θερμαινόμενους. Σ αυτά δεν χρειάζεται καθόλου υδατοπαγίδα. Στους θερμαινόμενους υγραντήρες που δεν συνδέονται με θερμαινόμενα κυκλώματα η υδατοπαγίδα είναι στον εισπνευστικό κλάδο γιατί μέρος των υδρατμών υγροποιείται λόγω της μικρότερης θερμοκρασίας στα τοιχώματα του. Έχει μάλιστα υπολογιστεί

ότι για έναν VT γύρω στα 10L/min παραμένει μέσα στον εισπνευστικό κλάδο του κυκλώματος του αναπνευστήρα περίπου 0,5L νερό το 24ωρο²⁷. Είναι, λοιπόν, καλύτερα να επιλέγονται οι ΗΗ με θερμαινόμενο καλώδιο διότι έχει αποδειχτεί ότι αυτοί χωρίς θερμαινόμενο καλώδιο έχουν ανάγκη από περισσότερο νερό, υγροποιούν μεγαλύτερη ποσότητα νερού μέσα στον εισπνευστικό κλάδο και είναι πιο χρονοβόροι για το προσωπικό⁵⁷.

Όταν χρησιμοποιείται θερμαινόμενος υγραντήρας πρέπει να συνδέουμε το σύστημα του θερμαινόμενου υγραντήρα σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών του²². Πρέπει, επίσης να τοποθετούμε το θερμόμετρο όσο το δυνατό πιο κοντά στον αεραγωγό του ασθενή. Αφού ρυθμίσουμε την θερμοκρασία, την ελέγχουμε συνεχώς μέσω του θερμομέτρου της συσκευής. Έχουμε, ακόμα, συνεχώς ενεργοποιημένο τον συναγερμό αύξησης της θερμοκρασίας⁵⁸. Επίσης ελέγχουμε το δοχείο νερού και προσθέτουμε νερό όποτε χρειάζεται. Τέλος πρέπει να απομακρύνουμε πιθανόν συγκεντρωμένο νερό από το κύκλωμα.

Κατά την χρήση των ΗΗ είναι σημαντικό να ακολουθούνται κάποιες συγκεκριμένες διαδικασίες ώστε να αποφευχθούν οι μικροβιακές λοιμώξεις εξαιτίας του υγραντήρα. Πρέπει, αρχικά, να προσέχουμε την καθαριότητα όταν το δοχείου νερού

γεμίζεται. Επιπλέον, το νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι αποστειρωμένο. Όταν χρησιμοποιείται κλειστό σύστημα γεμίσματος το ακριβώς χρησιμοποιημένο νερό μέσα στο δοχείο παραμένει αποστειρωμένο και δεν χρειάζεται να πεταχτεί όταν αλλάζεται το κύκλωμα του αναπνευστήρα⁵⁹. Επίσης, το νερό που σχηματίζεται μέσα στο κύκλωμα του αναπνευστήρα πρέπει να θεωρείται μολυσματικό και να ακολουθείται η πολιτική απομάκρυνσης μολυσματικών υλικών του νοσοκομείου. Επειδή το νερό που σχηματίζεται μέσα στο κύκλωμα του αναπνευστήρα από την συμπύκνωση των υδρατμών θεωρείται μολυσματικό υλικό δεν πρέπει ποτέ να το επιστρέψουμε μέσα στο δοχείο νερού του υγραντήρα⁶⁰.

Οι ΗΗ έχει αποδειχτεί ότι είναι η καλύτερη επιλογή τεχνητής ύγρανσης σε μεγάλη διάρκεια διασωλήνωσης. Παραμένουν αποτελεσματικοί όταν οι αναπνεόμενοι όγκοι είναι χαμηλοί καθώς και σε διαρροές του αεραγωγού. Επιπλέον σε ασθενείς με ιστορικό αυξημένων εκκρίσεων είναι πιο ασφαλείς συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους τεχνητής ύγρανσης³⁸. Σε πνευμονικό οίδημα και κακή μηχανική πνεύμονα (π.χ. Χ.Α.Π.) πρέπει να αποτελούν την μοναδική επιλογή ύγρανσης, διότι δεν αυξάνουν τις αντιστάσεις και τον νεκρό χώρο ⁶¹, παράμετροι που επηρεάζουν σημαντικά την πορεία της αναπνευστικής λειτουργίας των

συγκεκριμένων ασθενών. Σε υποθερμία, όπου οι ΗΜΕ δεν είναι αποτελεσματικοί, προσφέρουν παράλληλα με την επαρκή ύγρανση και βοήθεια για να αυξηθεί η θερμοκρασία. Μπορούν, δε, να συμβάλουν στη μείωση των περιστατικών υποθερμίας των χειρουργείων^{62,63}.

Βέβαια οι ΗΗ δεν είναι χωρίς μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, μπορεί να εμφανιστεί νερό στο κύκλωμα. Οι υδρατμοί είναι πιθανόν να υγροποιηθούν καθώς το αέριο μείγμα κρύνει μέσα στο κύκλωμα του αναπνευστήρα. Αυτό θα έχει σαν πιθανή συνέπεια να αυξηθούν οι αντιστάσεις στη ροή του αέρα ή να γεμίσει με νερό ο αεραγωγός²². Γι να αποφευχθούν αυτές οι αρνητικές συνέπειες θα πρέπει ο χειριστής να τοποθετεί υδατοπαγίδες στο κύκλωμα και να φροντίζει ο υγραντήρας να είναι τοποθετημένος κάτω από το επίπεδο του ενδοτραχειακού σωλήνα^{19,22}. Επίσης, οι συσκευές ΗΗ έχουν μεγαλύτερο κόστος τόσο αγοράς όσο και συντήρησης^{36,64}. Έχουν, ακόμα, κατηγορηθεί για αυξημένο κίνδυνο ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων εξαιτίας βακτηριδιακής αποίκησης του κυκλώματος και του δοχείου νερού⁶⁵. Υπάρχει, αν και μικρή, πιθανότητα ηλεκτροπληξίας και εγκαυμάτων του βλεννογόνου από βλάβη στη συσκευή²². Τέλος, εάν οι ρυθμίσεις θερμοκρασίας δεν είναι οι κατάλληλες οι ΗΗ μπορεί να συντελέσουν στην εμφάνιση υποθερμίας ή υπερθερμίας. Ένα επιπλέον

μειονέκτημα των ΗΗ που έχει αναφερθεί είναι ότι αυξάνουν τον φόρτο εργασίας του νοσηλευτικού προσωπικού.

Σύγκριση ΗΜΕ και ΗΗ ως προς την εμφάνιση πνευμονίας του αναπνευστήρα (VAP)

Εκτός από μία μελέτη ⁶⁶ στην οποία εμφανίστηκαν μειωμένα ποσοστά πνευμονίας στην ομάδα που χρησιμοποιούσε ΗΜΕ, όλες οι υπόλοιπες (που είναι αρκετές), με επιστέγασμα αυτή των Lacherade et al (2005), που έγινε σε ένα τυχαίοποιημένο δείγμα 369 ασθενών από διάφορα νοσοκομεία, κατέληξαν ότι δεν υπάρχει διαφορά στην εμφάνιση VAP όταν συγκρίνονται τα δύο συστήματα ύγρανσης⁶⁷. Εμφανίζεται βέβαια αυξημένη αποίκιση στο κύκλωμα του αναπνευστήρα με τον ΗΗ η οποία όμως παίζει λίγο ρόλο στην εμφάνιση την VAP^{67,68}. Πρέπει να γίνει αναφορά και στην μόνη μελέτη που βρήκε μικρότερη συχνότητα VAP όταν χρησιμοποιούνται ΗΗ σε σχέση με ΗΜΕ και αφορούσε ασθενείς που παρέμειναν διασωληνωμένοι περισσότερο από 5 ημέρες. Πρόκειται για την μελέτη του Lorente et al (2006) σε δείγμα 120 τυχαίοποιημένων ασθενών⁶⁹ (Πίνακας ΙΙΙ).

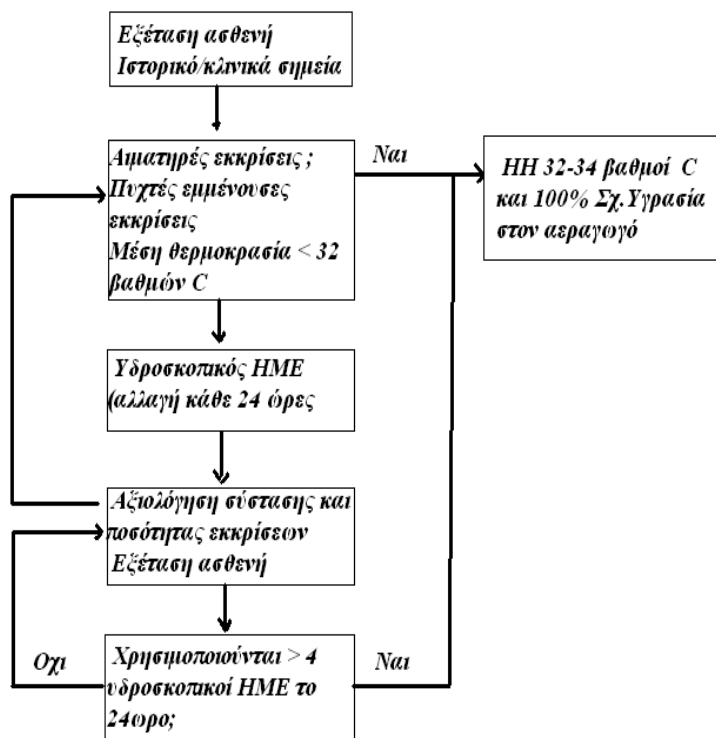
Πίνακας ΙΙΙ. Αποτελέσματα συγκριτικών μελετών ΗΜΕ και ΗΗ ως προς την εμφάνιση VAP

Kirton et al (1997) ↓ με ΗΜΕ
Lacherade et al (2005), Dreyfuss et al (1995) Αυξημένη αποίκιση κυκλώματος σε ΗΗ Καμία διαφορά στην εμφάνιση VAP
Lorente et al (2006) ↓ με ΗΗ σε διασωλήνωση > 5ημέρες

ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΓΡΑΝΤΗΡΑ

Δύο είναι οι ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν πριν επιλεγεί για χρήση ο κατάλληλος τύπος υγραντήρα. Πρώτα, ποια είναι η κατάλληλη συσκευή ύγρανσης για αυτή την συγκεκριμένη κλινική περίπτωση; Σύμφωνα με AARC Clinical Practice Guidelines 1992¹⁶ τα ΗΜΕ είναι αποδεκτός τρόπος ύγρανσης σε ασθενείς με τεχνητό αεραγωγό εκτός εάν η συγκεκριμένη περίπτωση υπεισέρχεται στις σαφείς αντενδείξεις των ΗΜΕ. Τα ΗΜΕ αντενδείκνυνται σε ασθενείς με πηχτές, εμμένουσες και αιματηρές εκκρίσεις, σε εκπνεόμενο όγκο < 70% του εισπνεόμενου όγκου, σε θερμοκρασία σώματος <32o C και σε αυτόματη αναπνοή με VT>10 L το λεπτό. Επίσης, η χρήση τους αποφεύγεται και σε ΧΑΠ εξαιτίας της αύξησης του νεκρού χώρου και του έργου της αναπνοής που δημιουργούν. Για τους ίδιους λόγους αποφεύγονται σε δυσκολία απογαλακτισμού.

Στην ερώτηση ποια από τις δύο μεθόδους ύγρανσης κοστίζει λιγότερο η προφανής απάντηση είναι οι ΗΜΕ. Παρ' όλα αυτά θεωρείται ότι το κόστος για τους ΗΜΕ σε μεγάλης διάρκειας διασωλήνωση είναι μεγαλύτερο από αυτό των ΗΗ. Επίσης το να ξεκινήσεις με ΗΜΕ στις περιπτώσεις εκείνες που είναι φανερό ότι θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί ΗΗ (π.χ. αυξημένες εκκρίσεις) δεν είναι παρά χάσιμο χρημάτων. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι το να αξιολογήσουμε πρακτικά την καταλληλότητα του συστήματος ύγρανσης που χρησιμοποιούμε δεν είναι εύκολο. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει καμιά κλινική παράμετρος που να μπορεί με ασφάλεια να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα των υγραντήρων, η σύσταση των εκκρίσεων του ασθενή δίνει μια ιδέα και πρέπει να παρατηρείται συστηματικά²⁴. Η Εικόνα 3 δείχνει έναν αλγόριθμο για ασφαλή χρήση των ΗΜΕ στην Μηχανική Αναπνοή με τεχνητό αεραγωγό⁷⁰.



Εικόνα 3: Αλγόριθμος για να καθοριστεί η ασφαλής χρήση παθητικού υγραντήρα. Τροποποιημένο από Branson et al (1993)⁷⁰.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχουν στοιχεία που να συνηγορούν αποκλειστικά υπέρ μίας εκ των δύο μεθόδων ύγρανσης. Ο κάθε ασθενής πρέπει να αξιολογείται ατομικά από τον θεραπευτή του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Shelly MP. The humidification and filtration functions of the airways. *Respir Care Clin N Am* 2006; 12:139-148
2. Sottiaux TM. Consequences of under- and over-humidification. *Respir Care Clin N Am* 2006; 12:233-252

- 3 Branson R. Humidification for patients with artificial Airways. *Respir Care* 1999; 44:630-641
- 4 Burton JD. Effects of dry anaesthetic gases on the respiratory mucous membrane. *Lancet* 1962; 1:235-238
- 5 Chalon J, Loew DA, Malebranche J. Effects of dry anesthetic gases on tracheobronchial ciliated epithelium. *Anesthesiology* 1972; 37:338-343
- 6 Marfatia S, Donahoe PK, Hendren WH. Effect of dry and humidified gases on the respiratory epithelium in rabbits. *J Pediatr Surg* 1975; 10:583-592
- 7 Samuels SI, Brodsky JB. Profound Intraoperative Atelectasis. *Br. J. Anaesth.* 1989; 62:216-218
- 8 Selsby D, Jones JG. Some physiological and clinical aspects of chest physiotherapy. *Br. J. Anaesth.* 1990; 64:621-631
- 9 Lawrence JC. Humidification practices in the Adult Intensive Care Unit, Prince of Wales Hospital. *Respir Care Clin N Am* 1998; 4:301-304
- 10 Circeo LE, Heard SO, Griffiths E, Nash G. Overwhelming necrotizing tracheobronchitis due to inadequate humidification during high-frequency jet ventilation. *Chest* 1991; 100:268-269
- 11 Friedman A. Therapeutic air humidification; its rationale in acute laryngotracheobronchitis in children. *AMA Arch Otolaryngol* 1955; 62:471-477
- 12 Nishida T, Nishimura M, Fujino Y, Mashimo T. Performance of heated humidifiers with a heated wire according to ventilatory settings. *J Aerosol Med* 2001; 14:43-51
- 13 Branson RD, Campbell RS. Humidification in the intensive care unit. *Respir Care Clin N Am* 1998; 4:305-320
- 14 Ingelstedt S. Studies on the conditioning of air in the respiratory tract. *Acta Otolaryngol Suppl* 1956; 131:1-80
- 15 Young HD, Freedman RA, Sandin TR, Ford AL. *Sears and Zemansky's University Physics*. 10th ed ed: Addison-Wesley, 1999
- 16 AARC clinical practice guideline. Humidification during mechanical ventilation. American Association for Respiratory Care. *Respir Care* 1992; 37:887-890
- 17 Miyao H, Hirokawa T, Miyasaka K, Kawazoe T. Relative humidity, not absolute humidity, is of great importance when using a humidifier with a heating wire. *Crit Care Med* 1992; 20:674-679
- 18 Mercke U. The influence of varying air humidity on mucociliary activity. *Acta Otolaryngol* 1975; 79:133-139
- 19 Safety Action Bulletin. *Anaesthesia* 1992; 47:547-547
- 20 Lellouche F, Taille S, Maggiore SM, Qader S, L'Her E, Deye N, et al. Influence of ambient and ventilator output

- temperatures on performance of heated-wire humidifiers. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 170:1073-1079
- 21 Hess D, Kacmarek RM. *Essentials of Mechanical Ventilation*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2002
- 22 Heated Humidifiers: risk of overheating gas in patient breathing circuit. Safety Action Notice. Edinburg: NHS Scotland, 1997; 1
- 23 Zuchner K. Humidification: measurement and requirements. *Respir Care Clin N Am* 2006; 12:149-163
- 24 Ricard JD, Markowicz P, Djedaini K, Mier L, Coste F, Dreyfuss D. Bedside evaluation of efficient airway humidification during mechanical ventilation of the critically ill. *Chest* 1999; 115:1646-1652
- 25 Rathgeber J. Devices used to humidify respired gases. *Respir Care Clin N Am* 2006; 12:165-182
- 26 Bissonnette B, Sessler DI. Passive or active inspired gas humidification increases thermal steady-state temperatures in anesthetized infants. *Anesth Analg* 1989; 69:783-787
- 27 Peterson BD. Heated humidifiers. Structure and function. *Respir Care Clin N Am* 1998; 4:243-259
- 28 Shanks CA. Clinical anaesthesia and the multiple-gauze condenser-humidifier. *Br J Anaesth* 1974; 46:773-777
- 29 Martin C, Thomachot L, Quinio B, Viviand X, Albanese J. Comparing two heat and moisture exchangers with one vaporizing humidifier in patients with minute ventilation greater than 10 L/min. *Chest* 1995; 107:1411-1415
- 30 Ogino M, Kopotic R, Mannino FL. Moisture-conserving efficiency of condenser humidifiers. *Anaesthesia* 1985; 40:990-995
- 31 Evaluation report: heat and moisture exchangers. *J Med Eng Technol* 1987; 11:117-127
- 32 Lucato JJ, Tucci MR, Schettino GP, Adams AB, Fu C, Forti G, Jr., et al. Evaluation of resistance in 8 different heat-and-moisture exchangers: effects of saturation and flow rate/profile. *Respir Care* 2005; 50:636-643
- 33 Martin C, Papazian L, Perrin G, Bantz P, Gouin F. Performance evaluation of three vaporizing humidifiers and two heat and moisture exchangers in patients with minute ventilation > 10 L/min. *Chest* 1992; 102:1347-1350
- 34 Daniel P, Fowler AJ. Breathing system filter use for infection control and humidification during anesthesia and mechanical ventilation--a review. *Middle East J Anesthesiol* 2001; 16:161-184
- 35 Boots RJ, Howe S, George N, Harris FM, Faoagali J. Clinical utility of hygroscopic heat and moisture exchangers in

- intensive care patients. Crit Care Med 1997; 25:1707-1712
- 36 Branson RD, Davis K, Jr., Campbell RS, Johnson DJ, Porembka DT. Humidification in the intensive care unit. Prospective study of a new protocol utilizing heated humidification and a hygroscopic condenser humidifier. Chest 1993; 104:1800-1805
- 37 Kollef MH, Shapiro SD, Boyd V, Silver P, Von Harz B, Trovillion E, et al. A randomized clinical trial comparing an extended-use hygroscopic condenser humidifier with heated-water humidification in mechanically ventilated patients. Chest 1998; 113:759-767
- 38 Misset B, Escudier B, Rivara D, Leclercq B, Nitenberg G. Heat and moisture exchanger vs heated humidifier during long-term mechanical ventilation. A prospective randomized study. Chest 1991; 100:160-163
- 39 Lorente L, Lecuona M, Galvan R, Ramos MJ, Mora ML, Sierra A. Periodically changing ventilator circuits is not necessary to prevent ventilator-associated pneumonia when a heat and moisture exchanger is used. Infect Control Hosp Epidemiol 2004; 25:1077-1082
- 40 Nishimura M, Nishijima MK, Okada T, Taenaka N, Yoshiya I. Comparison of flow-resistive work load due to humidifying devices. Chest 1990; 97:600-604
- 41 Girault C, Breton L, Richard JC, Tamion F, Vandelet P, Aboab J, et al. Mechanical effects of airway humidification devices in difficult to wean patients. Crit Care Med 2003; 31:1306-1311
- 42 Buckley PM. Increase in resistance of in-line breathing filters in humidified air. Br J Anaesth 1984; 56:637-643
- 43 Prasad KK, Chen L. Complications related to the use of a heat and moisture exchanger. Anesthesiology 1990; 72:958
- 44 McEwan AI, Dowell L, Karis JH. Bilateral tension pneumothorax caused by a blocked bacterial filter in an anesthesia breathing circuit. Anesth Analg 1993; 76:440-442
- 45 Lellouche F, Qader S, Taille S, Lyazidi A, Brochard L. Under-humidification and over-humidification during moderate induced hypothermia with usual devices. Intensive Care Med 2006; 32:1014-1021
- 46 Wilkes AR. The effect of gas flow on the filtration performance of breathing system filters. Anaesthesia 2004; 59:278-282
- 47 Iotti GA, Olivei MC, Palo A, Galbusera C, Veronesi R, Comelli A, et al. Unfavorable mechanical effects of heat and moisture exchangers in ventilated patients. Intensive Care Med 1997; 23:399-405

- 48 Pelosi P, Solca M, Ravagnan I, Tubiolo D, Ferrario L, Gattinoni L. Effects of heat and moisture exchangers on minute ventilation, ventilatory drive, and work of breathing during pressure-support ventilation in acute respiratory failure. *Crit Care Med* 1996; 24:1184-1188
- 49 Prat G, Renault A, Tonnelier JM, Goetghebeur D, Oger E, Boles JM, et al. Influence of the humidification device during acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 2003; 29:2211-2215
- 50 Rouby JJ, Lu Q. Bench-to-bedside review: adjuncts to mechanical ventilation in patients with acute lung injury. *Crit Care* 2005; 9:465-471
- 51 Cohen IL, Weinberg PF, Fein IA, Rowinski GS. Endotracheal tube occlusion associated with the use of heat and moisture exchangers in the intensive care unit. *Crit Care Med* 1988; 16:277-279
- 52 Martin C, Perrin G, Gevaudan MJ, Saux P, Gouin F. Heat and moisture exchangers and vaporizing humidifiers in the intensive care unit. *Chest* 1990; 97:144-149
- 53 Siempos II, Vardakas KZ, Kopterides P, Falagas ME. Impact of passive humidification on clinical outcomes of mechanically ventilated patients: A meta-analysis of randomized controlled trials*. *Crit Care Med* 2007
- 54 Ricard JD, Le Miere E, Markowicz P, Lasry S, Saumon G, Djedaini K, et al. Efficiency and safety of mechanical ventilation with a heat and moisture exchanger changed only once a week. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161:104-109
- 55 Hess DR, Branson RD. Humidification: humidifiers and nebulizers. In: Branson RD, Hess DR, Chatburn RL, eds. *Respiratory care equipment*. Philadelphia: JB Lippincott, 1995
- 56 Poolacherla R, Nickells J. Humidification devices. *Anaesthesia & intensive care medicine* 2006; 7:351 - 353
- 57 Branson RD, Davis KJ, Brown R, Rashkin M. Comparison of three humidification techniques during mechanical ventilation : Patient selection, costs, and infection considerations. *Respir care* 1996; 41:809-816
- 58 Rathgeber J, Kazmaier S, Penack O, Zuchner K. Evaluation of heated humidifiers for use on intubated patients: a comparative study of humidifying efficiency, flow resistance, and alarm functions using a lung model. *Intensive Care Med* 2002; 28:731-739
- 59 Castel O, Agius G, Grignon B, Magnan J, Rigondeau F, Patte F, et al. Evaluation of

- closed sterile prefilled humidification. *J Hosp Infect* 1991; 17:53-59
- 60 Nil-Weisea BS, Willeb JC, van den Broekc PJ. Humidification policies for mechanically ventilated intensive care patients and prevention of ventilator-associated pneumonia: a systematic review of randomized controlled trials. *Journal of Hospital Infections* 2007; 65:285-291
- 61 Prin S, Chergui K, Augarde R, Page B, Jardin F, Vieillard-Baron A. Ability and safety of a heated humidifier to control hypercapnic acidosis in severe ARDS. *Intensive Care Med* 2002; 28:1756-1760
- 62 Yam PC, Carli F. Maintenance of body temperature in elderly patients who have joint replacement surgery. A comparison between the heat and moisture exchanger and heated humidifier. *Anaesthesia* 1990; 45:563-565
- 63 Chen TY, Chen KT, Chang DP, Yeh FC, Chang CL. The effect of heated humidifier in the prevention of intra-operative hypothermia. *Acta Anaesthesiol Sin* 1994; 32:27-30
- 64 Gebara R, Najarian K, Wagner JM, Narla V. Five steps to cost savings: adjusting ventilator humidification protocols. *Biomed Instrum Technol* 2004; 38:147-154
- 65 Craven DE, Goularte TA, Make BJ. Contaminated condensate in mechanical ventilator circuits. A risk factor for nosocomial pneumonia? *Am Rev Respir Dis* 1984; 129:625-628
- 66 Kirton OC, DeHaven B, Morgan J, Morejon O, Civetta J. A prospective, randomized comparison of an in-line heat moisture exchange filter and heated wire humidifiers: rates of ventilator-associated early-onset (community-acquired) or late-onset (hospital-acquired) pneumonia and incidence of endotracheal tube occlusion. *Chest* 1997; 112:1055-1059
- 67 Lacherade JC, Auburtin M, Cerf C, Van de Louw A, Soufir L, Rebufat Y, et al. Impact of humidification systems on ventilator-associated pneumonia: a randomized multicenter trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2005; 172:1276-1282
- 68 Dreyfuss D, Djedaini K. Ventilator circuit changes and nosocomial pneumonia. *Anesthesiology* 1995; 83:882-884
- 69 Lorente L, Lecuona M, Jimenez A, Mora M, Sierra A. Ventilator-associated pneumonia using a heated humidifier or a heat and moisture exchanger: a randomized controlled trial [ISRCTN88724583]. *Critical Care* 2006; 10:R116
- 70 Branson R, Davis K, Jr, Campbell R, Johnson D, Porembka D. Humidification

in the intensive care unit. Prospective study of a new protocol utilizing heated humidification and a hygroscopic condenser humidifier. Chest 1993; 104:1800-1805