

Μηχανικός Αερισμός

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΤΣΟΡΑΚΙΔΟΥ, ΜΑΡΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ,
ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, ΕΛΕΝΗ ΜΟΥΛΟΥΔΗ

1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Οι ανάγκες μηχανικού αερισμού των ασθενών ποικίλουν από την διεγχειρητική υποστήριξη, την ελάχιστη υποστήριξη ενός μετεγχειρητικού ασθενή που χρειάζεται συνήθως λίγες μόνο ώρες μηχανικής υποστήριξης της αναπνοή του έως τη μέγιστη μακροχρόνια υποστήριξη που χρειάζεται ένας ασθενής με ARDS στη ΜΕΘ.

Για την κατανόηση των βασικών αρχών του μηχανικού αερισμού, είναι σημαντικό να διαχωριστούν οι δυο στοιχειώδεις του έννοιες. Η έννοια του αερισμού που στόχος της είναι η απομάκρυνση CO_2 και η διατήρηση σταθερών επιπέδων PaCO_2 στο αρτηριακό αίμα και η έννοια της οξυγόνωσης που στόχος της είναι η πρόσφορα της μέγιστης ποσότητας O_2 στο αρτηριακό αίμα και η διατήρηση βέλτιστων επιπέδων PaO_2 .

1α. Αερισμός

Η επίτευξη του αερισμού επιτυγχάνεται με τον κατά λεπτό αερισμό του ασθενή (VE), το γινόμενο δηλαδή του αναπνεόμενου όγκου (VT) και της αναπνευστικής συχνότητας (RR). Είναι πολύ σημαντικό να θυμόμαστε ότι ο VE περιλαμβάνει και ένα τμήμα αερισμού που ενώ καταλαμβάνει μέρος των αεραγωγών δε συμμετέχει στη ανταλλαγή αερίων, τον νεκρό χώρο (VD) και αποτελεί φυσιολογικά το ένα τρίτο του κυψελιδικού αερισμού που συμμετέχει στην ανταλλαγή των αερίων.

1β. Οξυγόνωση

Η τελική τιμή της PaO_2 εξαρτάται κυρίως από τη σχέση αερισμού [V] και αιμάτωσης [Q] των πνευμόνων [V/Q matching].

Η διαχείριση της οξυγόνωσης των ασθενών γίνεται μέσω ρυθμίσεων της εισπνεόμενης συγκέντρωσης οξυγόνου [FiO_2] και του επιπέδου της θετικής τελοεκπνευστικής

πίεσης των αεραγωγών [PEEP], λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα συνύπαρξης σημαντικού βαθμού διαταραχών αερισμού/αιμάτωσης (ύπτια θέση ασθενών, αυξημένη ενδοκοιλιακή πίεση, πνευμονική βλάβη).

Η αύξηση του FiO_2 παραμένει ο απλούστερος τρόπος ταχείας αύξησης της οξυγόνωσης, αλλά δε θα πρέπει να ξεχνάμε τον κίνδυνο τοξικότητας του οξυγόνου σε μακροχρόνια παραμονή $\text{FiO}_2 > 60\%$. Ανεπαρκής οξυγόνωση παρά τη χορήγηση $100\% \text{O}_2$ υποδηλώνει συνήθως διαταραχές V/Q και ανάπτυξη συνθηκών ενδοπνευμονικής πρόσμιξης αίματος [shunt] από σύμπτωση κυψελίδων λόγω ατελεκτασίας, κατάληψη κυψελίδων λόγω πνευμονίας, πλήρωση κυψελίδων με υγρό λόγω ARDS ή συμφορητικής καρδιακής ανεπάρκειας και από αίμα λόγω ενδοπνευμονικής αιμορραγίας.

Η διατήρηση θετικής τελοεκπνευστικής πίεσης [PEEP] προφυλάσσει από την ανάπτυξη ατελεκτασιών και βλαβών που προκύπτουν από το επαναλαμβανόμενο άνοιγμα και κλείσιμο των κυψελίδων στο τέλος της εκπνοής ή/και επιστρατεύει κυψελίδες δρώντας ως «νάρθηκας» που τις κρατάει ανοικτές στο τέλος της εκπνοής ώστε να συμμετέχουν στην ανταλλαγή των αερίων.

ΚΛΙΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

- καρδιοπνευμονική αναζωογόνηση
- αναπνευστική ανεπάρκεια
- μετεγχειρητικός αερισμός μετά από μείζονα επέμβαση προκειμένου να διορθωθούν διαταραχές πριν την αφύπνιση του ασθενούς όπως υποθερμία, ηλεκτρολυτικές διαταραχές, σοβαρή ανααιμία
- σοβαρή σήψη
- έλεγχος της PaCO_2 ως μέρος της αντιμετώπισης σοβαρής ενδοκρανιακής υπέρτασης σε τραυματικές κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις [TEK]
- υποστήριξη του αερισμού σε ασθενείς που χρειάζονται

ενδοτραχειακή διασωλήνωση για προστασία ή διατήρηση του αεραγωγού

- ελάττωση του καρδιακού έργου σε καρδιογενές shock

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ

Τα αντικειμενικά κριτήρια που συνηγορούν στην εφαρμογή μηχανικού αερισμού περιλαμβάνουν:

- συχνότητα αναπνοών >35
- οξυγόνωση $\text{PaO}_2 < 60\text{mmHg}$ [8KPa] με 60% πυκνότητα εισπνεομένου οξυγόνου
- αερισμός $\text{PaCO}_2 > 60\text{mmHg}$ [8KPa] συνοδευόμενο από $\text{pH} < 7,3$

Η κλινική αξιολόγηση είναι παρ' όλα αυτά η πιο σημαντική.

2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

2α. Μοντέλα ελεγχόμενου όγκου

Ο ιατρός ρυθμίζει τον αναπνεόμενο όγκο (VT) και την αναπνευστική συχνότητα (RR). Ο αναπνευστήρας παρέχει την πίεση που απαιτείται για να επιτευχθεί ο αναπνεόμενος όγκος που έχει προεπιλεγεί.

Ο ελεγχόμενος υποχρεωτικός αερισμός (Control Mechanical Ventilation CMV)

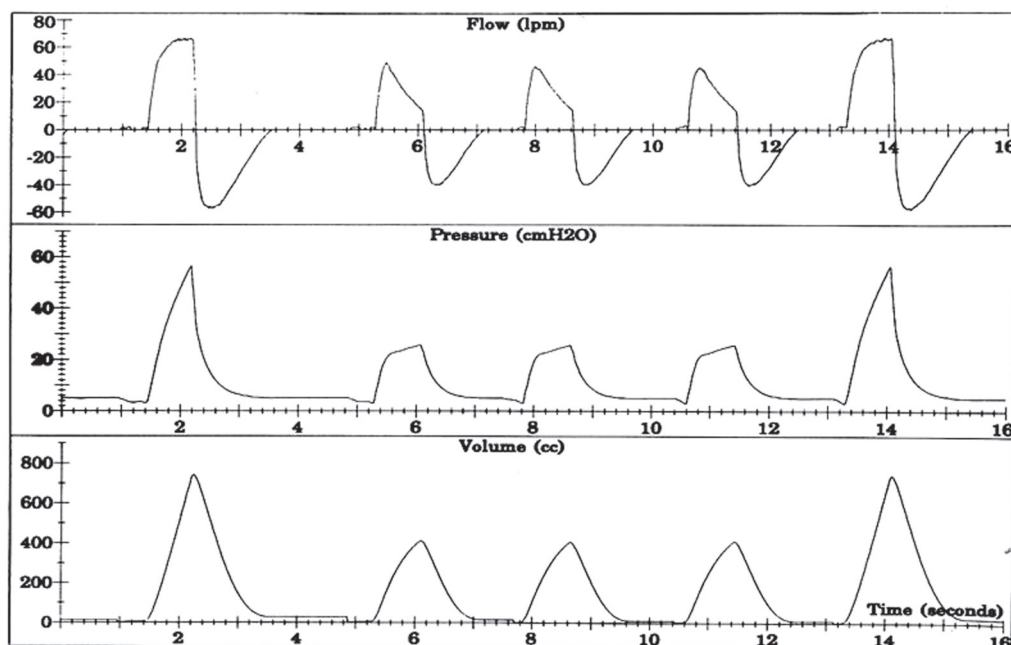
είναι παρόμοιος με τον αερισμό στο χειρουργείο. Η αναπνευστική συχνότητα και ο αναπνεόμενος όγκος και ο κατά λεπτό αερισμός καθορίζονται από τον κλινικό γιατρό. Ο CMV χρησιμοποιείται όταν είναι επιθυμητή η παρουσία ελάχιστης ή καθόλου αυτόματης αναπνευστικής προσπάθειας από τον ασθενή (όπως λόγου χάριν σε περιπτώσεις σοβαρής υποξίας).

Ο υποβοηθούμενος-ελεγχόμενος αερισμός (Assist Control Ventilation-ACV)

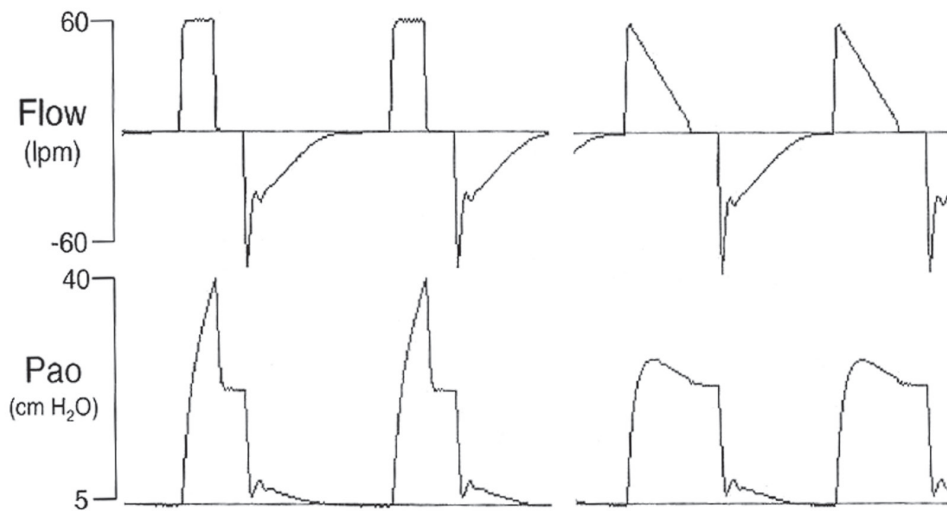
είναι ένα μοντέλο μηχανικού αερισμού στο οποίο ο αναπνευστήρας παρέχει πάντα τον ίδιο αναπνεόμενο όγκο σε κάθε εισπνοή, είτε αυτή άρχεται από τον ασθενή, είτε από τον ίδιο τον αναπνευστήρα. Αυτό συμβαίνει ανεξάρτητα από το μηχανικό φόρτο του αναπνευστικού συστήματος ή από το πόσο έντονη είναι η αναπνευστική προσπάθεια του ασθενούς.

Ο μηχανικός αερισμός σταθερού όγκου είναι επίσης γνωστός ως Volume Control Ventilation (σχήμα 1).

- Οι κύριες παράμετροι που καθορίζονται στο μοντέλο αυτό είναι ο αναπνεόμενος όγκος (VT) και η ελάχιστη αναπνευστική συχνότητα (RR).
- Η εισπνευστική ροή τετραγωνικού σχήματος και ο χρόνος εισπνοής (T_i) καθορίζουν τον αναπνεόμενο όγκο. Επίσης καθορίζεται ο χρόνος εκπνοής (T_e) και επομένως και ο λόγος εισπνοής/εκπνοής (I:E ratio).



Σχήμα 1. Στις 2 πρώτες αναπνοές εφαρμόζεται μηχανικός αερισμός σταθερού όγκου (Volume Control Ventilation με τετραγωνικό σχήμα εισπνευστικής ροής-Flow και τελειοπνευστική παύση) ενώ στις επόμενες 2 αναπνοές μηχανικός αερισμός ελεγχόμενης πίεσης (Pressure Control Ventilation-PCV με επιβραδυνόμενο σχήμα εισπνευστικής ροής- Flow)



Σχήμα 2. Συγχρονισμένος διαλείπων υποχρεωτικός αερισμός (Synchronised Intermittent Mandatory Ventilation-SIMV). Κατά τη διάρκεια της εκπνοής η υποστήριξη πίεσης (Pressure support) υποβοηθά τις επί πλέον αυτόματες αναπνοές που γίνονται πέρα από την προκαθορισμένη συχνότητα.

Διαλείπων υποχρεωτικός αερισμός (IMV/SIMV)

Ο ιατρός ρυθμίζει τον αναπνεόμενο όγκο και την αναπνευστική συχνότητα και ο αναπνευστήρας παρέχει ακριβώς τον αριθμό των αναπνεόμενων όγκων κάθε λεπτό. Αυτές οι υποχρεωτικές αναπνοές όταν συγχρονίζονται με τις αυτόματες αναπνευστικές προσπάθειες του ασθενούς τότε ο αερισμός ονομάζεται συγχρονισμένος διαλείπων υποχρεωτικός αερισμός (Synchronised Intermittent Mandatory Ventilation-SIMV) (για παράδειγμα αν μια υποχρεωτική αναπνοή είναι καθορισμένη να δοθεί όταν ο ασθενής αναπνέει αυτόματα τότε η υποχρεωτική αναπνοή καθυστερεί μέχρι να τελειώσει η εκπνοή του ασθενή, εμποδίζοντας έτσι την «επίτευση» αναπνοών) (σχήμα 2). Όλες οι αυτόματες αναπνευστικές προσπάθειες μεταξύ των υποχρεωτικών αναπνοών παραμένουν χωρίς υποβοήθηση.

Συμπερασματικά:

- Ο διαλείπων υποχρεωτικός αερισμός (Intermittent Mandatory Ventilation-IMV) παρέχει περιοδικές αναπνοές, προκαθορισμένου όγκου, με προκαθορισμένη συχνότητα, επιτρέπει όμως την αυτόματη αναπνοή μεταξύ των μηχανικών αναπνοών.
- Όταν οι υποχρεωτικές αναπνοές συγχρονίζονται με τις αναπνευστικές προσπάθειες του ασθενούς, τότε ο αερισμός ονομάζεται συγχρονισμένος διαλείπων υποχρεωτικός αερισμός (Synchronised Intermittent Mandatory Ventilation-SIMV).
- Ο SIMV είναι λιγότερο αποτελεσματική τεχνική αποδέ-

σμευσης από τον αναπνευστήρα σε σχέση με την μέθοδο που χρησιμοποιεί τον αερισμό με υποστήριξη πίεσης (Pressure Support Ventilation-PSV) και τη μέθοδο που χρησιμοποιεί το T-piece.

2β. Μοντέλα ελεγχόμενης πίεσης

Ο ιατρός καθορίζει την μέγιστη εισπνευστική πίεση και ο αναπνευστήρας παρέχει τον όγκο που παράγεται από αυτήν την πίεση. Η προκαθορισμένη πίεση εφαρμόζεται στους αεραγωγούς με προκαθορισμένη συχνότητα και προκαθορισμένη σχέση εισπνοής-εκπνοής.

Ο αερισμός ελεγχόμενης πίεσης (Pressure Control Ventilation-PCV) (σχήμα 1) χρησιμοποιήθηκε για να περιορίσει τις πιέσεις στους αεραγωγούς, όταν η χαμηλή πνευμονική ευενδοδότηση (ARDS) υπήρχε κίνδυνος να οδηγήσει σε βαρότραυμα. Ο χορηγούμενος αναπνεόμενος όγκος ποικίλει ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητες του αναπνευστικού συστήματος του ασθενούς (αντιστάσεις, ελαστικότητα), επομένως ποικίλει και ο κατά λεπτόν αερισμός.

- Ο PCV είναι αερισμός με περιοδική εφαρμογή προκαθορισμένου ύψους θετικής εισπνευστικής πίεσης και προκαθορισμένου χρόνου εισπνοής (Ti) με αποτέλεσμα εισπνευστική ροή επιβραδυνόμενης κυματομορφής.
- Ο αναπνεόμενος όγκος εξαρτάται από τις μηχανικές ιδιότητες του αναπνευστικού συστήματος (κίνδυνος υπο- ή υπεραερισμού).
- Σε ασθενείς με ARDS δε σημειώνεται πλέον υπεροχή σε σύγκριση με άλλα μοντέλα αερισμού.

Παρά τον αρχικό ενθουσιασμό, ο αερισμός με PCV δεν

απέδειξε στην πορεία του χρόνου ότι αποτελεί καλύτερο μοντέλο αερισμού σε σχέση με τα υπόλοιπα. Η επιλογή μοντέλου όγκου ή πίεσης είναι ασφαλής μόνο εφόσον έχουν προεπιλεγεί οι απαραίτητοι συναγερμοί (alarm) μέγιστης εισπνευστικής πίεσης για μοντέλα όγκου και αναπνεόμενο όγκου και κατά λεπτόν αερισμού για μοντέλα πίεσης.

Υποστήριξη πίεσης (Pressure support)

Μοντέλο με αυτόματη αναπνοή χωρίς προκαθορισμένες αναπνοές. Η θετική πίεση ασκείται στους αεραγωγούς επί ύπαρξης εισπνευστικής προσπάθειας. Ο αναπνεόμενος όγκος που χορηγείται εξαρτάται από την ελαστικότητα του αναπνευστικού συστήματος (πνεύμονες και θωρακικό τοίχωμα) και την αντίσταση των αεραγωγών και επομένως ποικίλει. Γενικά η εκκίνηση γίνεται με μια πίεση 20-25 cmH₂O, η οποία ελαττώνεται καθώς οι μηχανικές ιδιότητες του ασθενούς βελτιώνονται. Μπορεί να συνδυαστεί με SIMV για να υποβοηθήσει τις επί πλέον αυτόματες αναπνοές που γίνονται πέρα από την προκαθορισμένη συχνότητα κατά τη διάρκεια της εκπνοής (σχήμα 2).

- Ο PSV είναι μοντέλο μηχανικού αερισμού που παρέχει προκαθορισμένη υποστήριξη πίεσης εφόσον διεγερθεί από τον ασθενή, χωρίς να μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια ο κατά λεπτό αερισμός.
- Χρησιμοποιείται για την αποδέσμευση του ασθενούς από τον αναπνευστήρα και στον μη επεμβατικό μηχανικό αερισμό (MEMA), όταν ο αναπνευστήρας δεν παρέχει επιλογή μη επεμβατικού αερισμού.
- Η επιτυχής εφαρμογή του PSV σημαίνει υποχώρηση των σημείων αναπνευστικής δυσχέρειας του ασθενούς με ελάττωση της αναπνευστικής συχνότητας (RR<30) και της χρήσης επικουρικών αναπνευστικών μυών.
- Εισπνευστικές πιέσεις μεγαλύτερες από αυτές που χρειάζονται οδηγούν σε υπεραερισμό και παγίδευση αέρα, με αποτέλεσμα τις άπνοιες και την αναποτελεσματική διέγερση του αναπνευστήρα.

Κλασικά, ο PSV χρησιμοποιείται στους ασθενείς κατά την διαδικασία αποδέσμευσης από τον αναπνευστήρα (weaning). Η αποτελεσματικότητά του στην επιτυχή αποδέσμευση από τον αναπνευστήρα είναι τεκμηριωμένη και υπερτερεί άλλων μοντέλων μηχανικού αερισμού όπως του

SIMV (Synchronised Intermittent Mechanical Ventilation). Λόγω του καλύτερου συγχρονισμού και της μικρότερης δυσανεξίας από τους ασθενείς έχει προταθεί ως εναλλακτικό μοντέλο αερισμού, σε σχέση με τα μοντέλα ελεγχόμενου όγκου από τα αρχικά ακόμα στάδια υποστήριξης του αναπνευστικού συστήματος εφόσον βέβαια μπορεί να επιτευχθεί η συνεργασία του ασθενούς και ο επαρκής αερισμός.

Επιπλέον έχει χρησιμοποιηθεί για παροχή μη επεμβατικού μηχανικού αερισμού (MEMA) σε μη διασωληνωμένους ασθενείς με χρήση μάσκας, αν και στους σύγχρονους αναπνευστήρες υπάρχει πλέον ειδικό πρόγραμμα για εφαρμογή MEMA.

2γ. Θετική τελοεκπνευστική πίεση (PEEP) και συνεχής θετική πίεση αεραγωγών (CPAP)

Χρησιμοποιούνται για βελτίωση της οξυγόνωσης και της μηχανικής του αναπνευστικού συστήματος μέσω «επιστράτευσης» των κυψελίδων, επαναφέροντας τους ελαττωμένους πνευμονικούς όγκους στο φυσιολογικό.

3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

Η γενική αναισθησία για τη διενέργεια χειρουργικών επεμβάσεων και η καταστολή στις ΜΕΘ απαιτεί την χορήγηση φαρμάκων που επηρεάζουν τον έλεγχο της αναπνοής από το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ) και την λειτουργία των αναπνευστικών μυών. Το αποτέλεσμα είναι η ανεπάρκεια ή η πλήρης αδυναμία του ασθενή να διατηρήσει ικανοποιητική αναπνευστική λειτουργία. Έτσι, η γενική αναισθησία και η καταστολή στις ΜΕΘ απαιτεί την υποστήριξη της αναπνευστικής λειτουργίας του ασθενή με μηχανικό αερισμό.

Οι κύριες αρχικές ρυθμίσεις αερισμού όγκου αναφέρονται στον πίνακα 1 (ο αναπνεόμενος όγκος υπολογίζεται βάσει του ιδανικού βάρους σώματος). Σε αερισμό ελεγχόμενης πίεσης (PCV) σε ενήλικες με φυσιολογικές μηχανικές ιδιότητες πνεύμονα βάσει ιδανικού βάρους σώματος ισχύει ο πίνακας 1 εκτός του ότι η συνολική πίεση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30cm H₂O.

Παράμετροι	Τιμές
Αναπνευστικός όγκος (VT)	6-7 ml/kg
Αναπνευστική συχνότητα (RR)	8-12 br/sec
Λόγοι εισπνοής προς εκπνοή	1:2
Θετική τελοεκπνευστική πίεση (PEEP)	5cm H ₂ O
Trigger	-2cm H ₂ O ή 2c/min

Πίνακας 1. Αρχικές ρυθμίσεις κατά την εφαρμογή μηχανικού αερισμού στο χειρουργείο.

Οι στόχοι της εφαρμογής του μηχανισμού αερισμού για την αντιμετώπιση σοβαρής απόφραξης αεραγωγών συμπεριλαμβάνουν στατική τελοεισπνευστική πίεση ($P_{plateau}$) μικρότερη των 30cm H_2O και ενδογενή PEEP μικρότερη από 10cm H_2O . Τυχαιοποιημένες μελέτες έχουν δείξει πως η χορήγηση VT μικρότερη ή ίση με 6 ml/kg ιδανικού βάρους σώματος βελτίωσε τη θνητότητα στους ασθενείς με ARDS. Η ιδανική τιμή του αναπνεόμενου όγκου σε άλλες περιπτώσεις δεν είναι γνωστή, στόχος όμως είναι να διατηρηθεί η στατική τελοεισπνευστική πίεση ($P_{plateau}$) < 30 cm H_2O . Μεγάλες τιμές VT μπορούν να προκαλέσουν βαρότραυμα και να διεγείρουν από μόνες τους συστηματική φλεγμονώδη αντίδραση.

Σε ασθενείς με οξεία αναπνευστική ανεπάρκεια που απαιτούν μηχανική υποστήριξη της αναπνοής τους επιχειρείται η χορήγηση μικρότερου και αποτελεσματικότερου FIO_2 έτσι ώστε $PaO_2 > 60$ mmHg ή $SaO_2 > 90\%$. Η τιμή FIO_2 μικρότερη ή ίση με 0,6 θεωρείται ως το όριο της τοξικής συγκέντρωσης του μίγματος οξυγόνου. Η ιδανική τιμή της PEEP σε κάθε ασθενή δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί. Αρχικά ρυθμίζεται στα 5cm H_2O αλλά τιμές έως και 20cm H_2O χρησιμοποιούνται σε ασθενείς με ARDS. Κλινικός στόχος είναι η ανεύρεση εκείνης της κατώτερης PEEP

που είναι απαραίτητη ώστε για επιτευχθεί $PaO_2 > 60$ mmHg με FIO_2 μικρότερο ή ίσο με 0,6.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Οι αναπνευστήρες αποτελούν μια επαναστατική τεχνολογία που μπορεί, υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις, να δώσει χρόνο στον ασθενή, προκειμένου ο ιατρός να μπορέσει να αντιμετωπίσει αιτιολογικά την κύρια αναπνευστική διαταραχή. Εντούτοις, ο μηχανικός αερισμός συνοδεύεται από πολλές επιπλοκές που μπορεί να επιβαρύνουν την τελική έκβαση του ασθενή. Εκτός από τη βαθειά κατανόηση της φυσιολογίας και των αλληλεπιδράσεων καρδιάς-πνευμόνων, η γνώση των αρχών λειτουργίας των αναπνευστήρων συμβάλλει στην ασφαλέστερη εφαρμογή τους στις ΜΕΘ, με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αερισμού αλλά και την ικανότητα κριτικής αξιολόγησης της σύγχρονης τεχνολογίας. Το αυξημένο κόστος και η υιοθεσία πολύπλοκων μηχανισμών λειτουργίας, καθιστά όλο και σημαντικότερη την εξοικείωση του υγειονομικού προσωπικού με τα μυστικά των σύγχρονων αναπνευστήρων, προκειμένου η εφαρμογή τους να εμπίπτει στο ΠΠ-ΠΟΚΡΑΤΙΚΟ < ωφελείν ή μη βλάπτει >.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βόλακλι Ε: Βασικές αρχές μηχανικού αερισμού στη ΜΕΘ. Βασιλάκος Δ (εκδότης): Ανασθησιολογία και Εντατική Θεραπεία, εκδόσεις ΡΟΤΟΝΤΑ, Θεσσαλονίκη 2012, σελ 589
2. Esteban A, Anzueto A, Alia I et al: How is mechanical ventilation employed in the intensive care unit? An international utilization review. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161:1450
3. Schmidt, GA. Ventilator waveforms: clinical interpretation. In: *Principles of Critical Care*, 3rd ed, Hall, J, Schmidt, GA, Wood, LD (eds), The McGraw Hill Companies, 2008
4. Nagelhout J, Plaus K: *Nurse Anesthesia fifth edition*, Elsevier, 2014
5. Tobin MJ: *Principles and Practice of Mechanical Ventilation*. McGraw-Hill 2006
6. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. *N Engl J Med* 2000;342:1301

