

# Μη «Συμβατικές» Μορφές Μηχανικού Αερισμού των Πνευμόνων

Κ. ΚΑΡΑΚΟΥΛΑΣ – Δ.Ι. ΣΕΤΖΗΣ

## 1. Εισαγωγή

Αν και ο καιρός κατά τον οποίο η εντατική θεραπεία ήταν συνώνυμη με την αναπνευστική υποστήριξη έχει περάσει, η μηχανική υποστήριξη της αναπνοής συνεχίζει να αποτελεί θεμελιώδες τμήμα της αντιμετώπισης του βαρέως πάσχοντα ασθενή. Οι βασικές αρχές της αναπνευστικής υποστήριξης δεν έχουν αλλάξει<sup>1,2</sup>. Η τεχνολογική όμως εξέλιξη, ο σχεδιασμός και η μεθοδολογία του μηχανικού αερισμού έχουν επιφέρει επανάσταση τόσο στις μεθόδους υποστήριξης όσο και στον έλεγχο των αναπνευστικών παραμέτρων με την βοήθεια του ειδικού monitoring<sup>3</sup>.

Η αρχική εφαρμογή του αερισμού με θετικές πιέσεις που βασιζόταν στην διαλείπουσα άσκηση σταθερής πίεσης στον αεραγωγό του ασθενούς γρήγορα υποκαταστάθηκε την δεκαετία του '60 με μεθόδους αερισμού που εξασφάλιζαν σταθερό αναπνεόμενο όγκο. Η εξέλιξη των μεθόδων αυτών με την προσθήκη δυνατοτήτων, που επέτρεπαν στον ασθενή να ξεκινά την μηχανική αναπνοή (triggering) και να αναπνέει αυτόματα στα μεσοδιαστήματα, προσδιόρισαν μια τάση περισσότερο φιλική προς την αυτόματη αναπνευστική δραστηριότητα. Παθολογικές καταστάσεις όμως που εμφανίστηκαν με την εξέλιξη της εντατικής θεραπείας, όπως η αναπνευστική δυσχέρεια των ενηλίκων (ARDS), στις οποίες περιορίζεται σημαντικά το λειτουργικό πνευμονικό παρέγχυμα και ελαττώνεται δραματικά η ευενδοτότητα των πνευμόνων, δεν μπόρεσαν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με τον ελεγχόμενο με όγκο μηχανικό αερισμό. Η επιστροφή στον ελεγχόμενο με πίεση αερισμό κρίθηκε λοιπόν απαραίτητη<sup>4</sup>.

Η εφαρμογή αερισμού με θετικές πιέσεις με τους συμβατικούς τρόπους αερισμού απαιτούσε παλαιότε-

ρα βαθειά καταστολή του ασθενούς ή και μυοχάλαση. Αποτέλεσμα των χειρισμών αυτών είναι το υψηλότερο ποσοστό αλληλεπιδράσεων και ανεπιθύμητων ενεργειών των φαρμάκων, η παράταση της νοσηλείας, η αύξηση των επιπλοκών και του κόστους και η πιθανά δυσμενέστερη έκβαση των ασθενών. Η σημερινή εξέλιξη της πρακτικής εφαρμογής των αρχών της κυβερνητικής μέσω των εφαρμογών της πληροφορικής έκανε δυνατό τον σχεδιασμό και την εφαρμογή τύπων μηχανικού αερισμού στους οποίους ο παράγων ασθενής καταλαμβάνει δεσπόζουσα θέση. Σήμερα ο κλινικός έχει την δυνατότητα να προγραμματίζει τους στόχους της θεραπείας που αφορούν στην μεταβαλλόμενη παθολογία και ο ασθενής συγχρόνως να επηρεάζει ενεργητικά το αποτέλεσμα της κλινικής αλληλεπίδρασης με τον αναπνευστήρα.

Οι κλινικές μελέτες που στόχευαν να αποδείξουν ότι ένας συγκεκριμένος τύπος αναπνευστικής υποστήριξης ή ένας συγκεκριμένος αλγόριθμος προσέγγισης είναι ο καταλληλότερος για την επιτυχή αντιμετώπιση συγκεκριμένων παθολογικών καταστάσεων και κλινικών προβλημάτων απέτυχαν. Η εμπειρία και γνώση του κλινικού γιατρού της μονάδος εντατικής θεραπείας με την παράλληλη εκμετάλλευση των τεχνολογικών εξελίξεων και του monitoring αποτελούν σήμερα τη μόνη εγγύηση για την κλινική αντιμετώπιση των ασθενών υπό αναπνευστική υποστήριξη. Η εποχή όμως στην οποία ο κλινικός θα υποκατασταθεί από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του αναπνευστήρα, τα οποία θα έχουν την δυνατότητα να προσδιορίζουν τις παθοφυσιολογικές παραμέτρους του ασθενούς, θα επιλέγουν τους στόχους και θα ελέγχουν την αποτελεσματικότητα των θεραπευτικών μεθόδων, ίσως δεν είναι ακόμα ορατή.

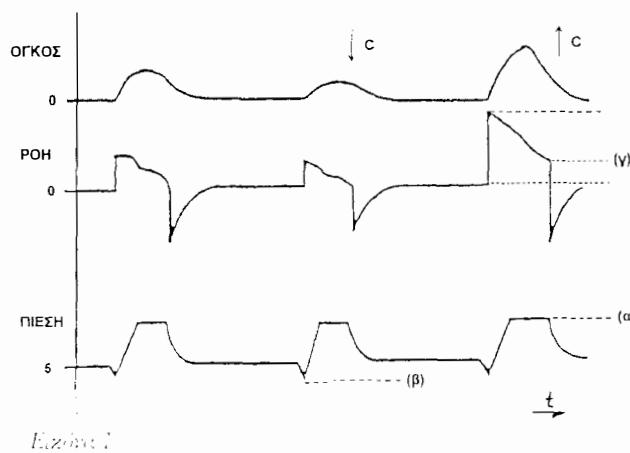
Το παρόν σύγγραμμα αποτελεί προσπάθεια παρουσίασης των μη «συμβατικών» μορφών τεχνητού αερισμού με στόχο την πιθανή γενίκευση της κλινικής χρήσης τεχνικών που αποδεδειγμένα υπόσχονται βελτίωση της μηχανικής υποκατάστασης της πάσχουσας αναπνοής και την απομυθοποίηση εξελίξεων που ίσως μόνο δέος και σύγχυση έχουν να προσθέσουν στο ήδη βεβαρυσμένο συγκεκριμένο επιστημονικό περιβάλλον. Η προσπάθεια απόδοσης της ορολογίας στην ελληνική γλώσσα παρουσίασε και στο παρόν κείμενο μεγάλες δυσκολίες. Για την καλύτερη δυνατή κατανόηση των όρων ακολουθήθηκε η περιγραφική απόδοση στα ελληνικά, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν πάντα πρωτότυπες ελληνικές αναφορές. Από τον αναγνώστη αναμένεται για τους λόγους αυτούς η επίδειξη της σχετικής κατανόησης. Στο τέλος του κειμένου επισυνάπτεται αλφαβητικός πίνακας ταξινόμησης των ξενόγλωσσων όρων και συντμήσεων.

## 2. Παρουσίαση των επί μέρους τύπων μηχανικού αερισμού των πνευμόνων

Στους από χρόνια και κλινικά καθιερωμένους τύπους μηχανικού αερισμού (Controlled Mechanical Ventilation, CMV: ελεγχόμενος μηχανικός αερισμός και Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation, SIMV: συγχρονισμένος διαλείπων υποχρεωτικός αερισμός) έχουν προστεθεί και νέες μέθοδοι μηχανικής υποστήριξης της αναπνοής και συμπληρώνουν σήμερα τις κλινικές δυνατότητες στις μονάδες εντατικής θεραπείας. Από τις νεώτερες αυτές τεχνικές άλλες τείνουν να κυριαρχήσουν στην καθημερινή κλινική πρακτική όπως ο IPSV (Inspiratory Pressure Support Ventilation) και άλλες θυμίζουν ακόμη σενάρια επιστημονικής φαντασίας (Liquid Ventilation). Ο όρος “μη συμβατικός” στο παρόν κείμενο δικαιολογείται από την δυστυχώς καθυστερημένη ενημέρωση και εξοικείωση του επιστημονικού μας κόσμου με τα αλλαχού δρώμενα και την εκπαιδευτική σημασία της παρούσας προσπάθειας.

### 2.1. Αερισμός με εισπνευστική υποβοήθηση της πίεσης (Inspiratory Pressure Support Ventilation, IPSV ή PSV) ή Υποβοηθούμενη αυτόματη αναπνοή (Assisted Spontaneous Breathing, ASB)

Ο αερισμός αυτός είναι ένας τύπος υποβοήθησης της αυτόματης αναπνοής του ασθενούς με πίεση και φθίνοντα εισπνευστικό ρυθμό ροής<sup>3</sup>.



Εικόνα 1

Στην εικόνα 1 διακρίνονται τρεις παράλληλες καταγραφές του όγκου, της ροής και της πίεσης των αεραγωγών. Στην κυματομορφή της πίεσης διακρίνεται η εισπνευστική προσπάθεια του αρρώστου, σημείο (β), και η επακόλουθη επιτάχυνση του ρυθμού ροής από τον αναπνευστήρα έως ότου η πίεση μέσα στο αναπνευστικό κύκλωμα φτάσει ένα προεπιλεγμένο επίπεδο (α). Την εισπνοή την πυροδοτεί ο ασθενής και τελειώνει όταν η εισπνευστική ροή πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο για τον κάθε αναπνευστήρα επίπεδο. Η εισπνοή μπορεί να πυροδοτηθεί είτε με την αρνητικοποίηση της πίεσης στο αναπνευστικό κύκλωμα είτε με την αναστροφή της εκπνευστικής ροής. Η προσφορά εισπνευστικής ροής από τον αναπνευστήρα συνεχίζεται ανάλογα με την εισπνευστική προσπάθεια του ασθενή έως ότου επιτευχθεί το προεπιλεγέν επίπεδο πίεσης (α). Ακολουθεί η φάση plateau με παράλληλη πτώση της ροής μέχρι το 25% της μέγιστης τιμής της (σημείο γ). Η εισπνευστική ροή σε αυτόν τον τύπο αερισμού μεταβάλλεται ανάλογα με την ευενδοτότητα του αναπνευστικού συστήματος και τις αντιστάσεις των αεραγωγών. Ο όγκος στον IPSV όπως φαίνεται στην καταγραφή του όγκου είναι μια εξαρτώμενη μεταβλητή.

Ο αερισμός με υποβοήθηση της πίεσης είναι ευρέως διαδεδομένος τύπος αναπνευστικής υποστήριξης τόσο για αποδέσμευση ασθενών από τον συμβατικό μηχανικό αερισμό όσο και σε πρώιμες καταστάσεις οξείας αναπνευστικής ανεπάρκειας. Μπορεί επίσης με επιτυχία να συνδυαστεί και με άλλους τύπους μηχανικού αερισμού (π.χ. SIMV).

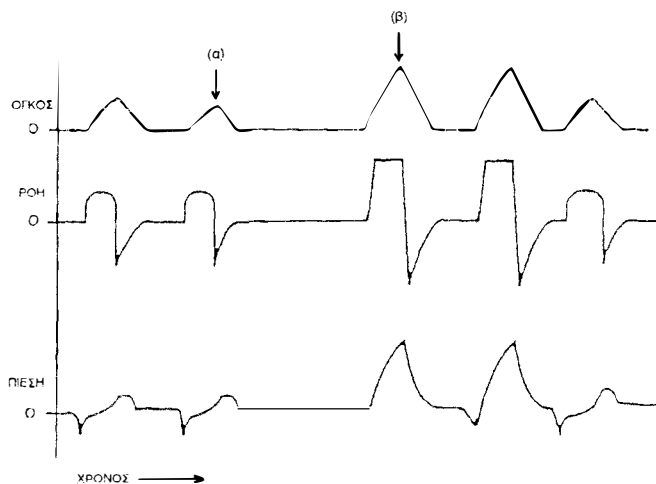
Σε ορισμένους αναπνευστήρες υπάρχει επιπλέον η δυνατότητα ρύθμισης του αρχικού ρυθμού αύξησης της πίεσης (pressure slope) και η υποστήριξη με επι-

πρόσθετη αύξηση του ρυθμού ροής μιας εισπνοής ασθενούς που υποστηρίζεται με όγκο (pressure augmentation).

Ο IPSV από την αρχή της εφαρμογής του απετέλεσε έναν επαναστατικό τρόπο τιτλοποίησης της μηχανικής υποβοήθησης της αυτόματης αναπνοής. Ο ασθενής δεν χρειάζεται πλέον καταστολή και έχει την δυνατότητα να καθορίζει τον αναπνεόμενο όγκο, τον εισπνευστικό χρόνο και την αναπνευστική του συχνότητα κατά βούληση. Ο IPSV απετέλεσε αφηρησία για την εξέλιξη και εφαρμογή νεότερων τύπων αερισμού.

## 2.2 Υποχρεωτικός κατά λεπτό αερισμός (Mandatory Minute Ventilation, MMV ή Mandatory Minute Volume Ventilation, MMVV)

Ο MMV είναι μια μορφή αερισμού που υπόσχεται την εξασφάλιση του προεπιλεγμένου κατά λεπτό αερισμού των πνευμόνων. Όταν ο αυτόματος αερισμός υπερβαίνει τον σε κατά λεπτό προεπιλεγμένο όγκο, ο αναπνευστήρας παύει να χορηγεί υποχρεωτικές εμφυσησεις και ο ασθενής αναπτύσσει αυτόματη αναπνευστική δραστηριότητα. Στην αντίθετη περίπτωση (εικόνα 2), όταν ο ρυθμός αναπνοής του ασθενούς δεν υπόσχεται την κάλυψη του ελάχιστου προκαθορισμένου ορίου (α), ο αναπνευστήρας χορηγεί υποχρεωτικές εμφυσησεις (β) συγκεκριμένου όγκου και συχνότητας για την κάλυψη του υποχρεωτικού κατά λεπτό αερισμού<sup>1</sup>.



Εικόνα 2

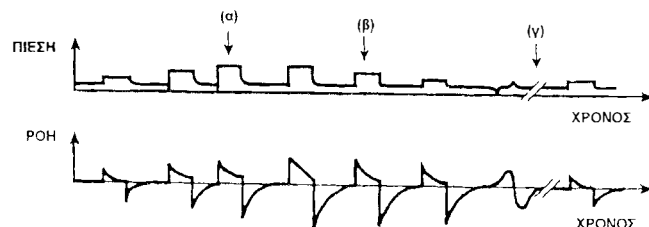
Θεωρητικά η αποδέσμευση από τον μηχανικό αερισμό απλοποιείται γιατί ο κλινικός δεν χρειάζεται να ρυθμίζει περιοδικά τον αναπνευστήρα ανάλογα με την αναπνευστική συχνότητα του ασθενή. Ο στόχος για την

επιλογή του επιθυμητού κατά λεπτό όγκου θα πρέπει να είναι εκείνος που εξασφαλίζει την επιθυμητή μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα στο αρτηριακό αίμα. Ο αερισμός χρησιμοποιείται με επιτυχία σε ασθενείς που ανανήπτουν από την αναισθησία ή παρουσιάζουν παροδικές διαταραχές του ρυθμού αναπνοής.

## 2.3 Αερισμός με εισπνευστική υποβοήθηση της πίεσης και σταθερό αναπνεόμενο όγκο (Volume Support, VS)

Ο τρόπος αυτός υποβοήθησης του αυτόματου αερισμού συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του υποστηριζόμενου με πίεση αερισμού με φθίνοντα εισπνευστικό ρυθμό ροής (IPSV) και την ασφάλεια του σταθερού όγκου<sup>5</sup>.

Ο αναπνευστήρας ελέγχει αυτόματα τις μηχανικές ιδιότητες των πνευμόνων και του θώρακα και ρυθμίζει την πίεση υποστήριξης με στόχο την εξασφάλιση του επιθυμητού αναπνεόμενου όγκου. Όταν ο ασθενής αναλαμβάνει όλο και περισσότερο το έργο της αναπνοής η υποστήριξη της πίεσης από τον αναπνευστήρα ελαττώνεται.



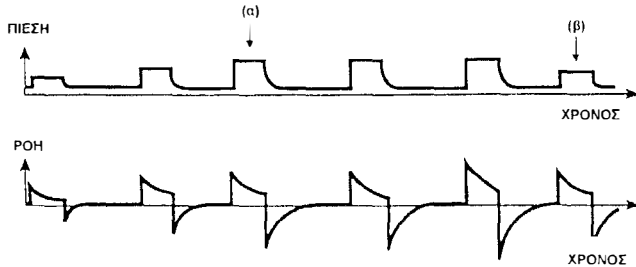
Εικόνα 3

Στην εικόνα 3 φαίνεται ότι η υποστήριξη με πίεση της αυτόματης αναπνοής του ασθενούς αυξάνει σταδιακά έως την επίτευξη του προεπιλεγμένου αναπνεόμενου όγκου (α). Αν ο εκπνεόμενος όγκος γίνει μεγαλύτερος από τον προεπιλεγμένο, το επίπεδο της πίεσης υποστήριξης σταδιακά ελαττώνεται (β). Ο ασθενής στον τύπο αυτό αερισμού καθορίζει αυτόνομα την συχνότητα και τον χρόνο εισπνοής. Στο συγκεκριμένο αναπνευστήρα που παρέχεται αυτός ο τύπος αερισμού σε περίπτωση άπνοιας (γ) ο VS μεταπίπτει αυτόματα σε ελεγχόμενο τύπο αερισμού (PRVC) για όσο χρόνο διαρκεί η άπνοια.

## 2.4 Αερισμός σταθερού όγκου με αυτορυθμιζόμενη πίεση (Pressure Regulated Volume Control, PRVC)

Ο νέος αυτός τύπος ελεγχόμενου αερισμού συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του ελεγχόμενου με την πίεση αερισμού και την ασφάλεια του σταθερού κατά λεπτό όγκου<sup>6</sup>.

Ο αναπνευστήρας ελέγχει αυτόματα τις μηχανικές ιδιότητες των πνευμόνων και του θώρακα και όταν αυτές μεταβάλλονται (π.χ. σε ατελεκτασία ή βρογχόσπασμο) ρυθμίζει το εισπνευστικό επίπεδο πίεσης με στόχο την εξασφάλιση του επιθυμητού αναπνεόμενου όγκου. Ο εισπνεόμενος και ο κατά λεπτό όγκος, η συχνότητα και η σχέση εισπνοής εκπνοής προεπιλέγονται ενώ το επίπεδο της πίεσης διατηρείται στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο.



Εικόνα 4

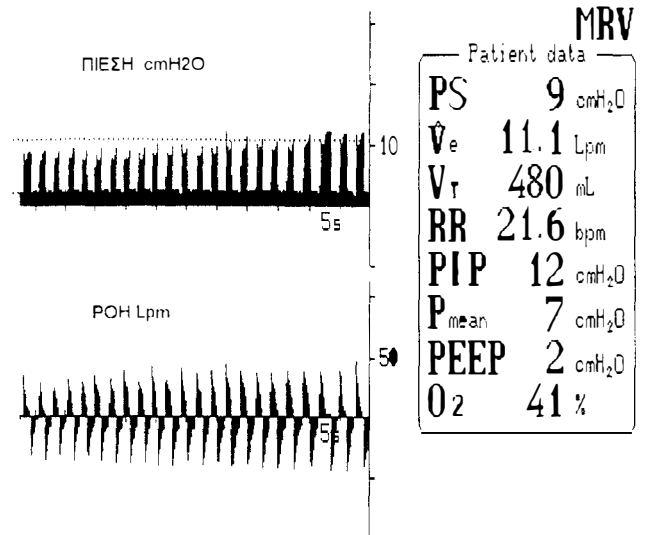
Στην εικόνα 4 φαίνεται ότι η πίεση αυξάνεται σταδιακά σε κάθε αναπνοή μέχρι την επίτευξη του προεπιλεγμένου αναπνεόμενου όγκου (α). Αν ο εκπνεόμενος όγκος αυξηθεί πέραν της τιμής που έχει προεπιλεγεί, η πίεση υποστηρίξις σταδιακά αυτορυθμίζεται σε χαμηλότερο επίπεδο (β). Ο αναπνευστήρας αυτόματα, αναπνοή με αναπνοή, προσαρμόζει το επίπεδο της πίεσης εισπνοής στις μεταβολές των μηχανικών ιδιοτήτων του πνεύμονα και του θωρακικού τοιχώματος.

Ο αερισμός αυτός υπόσχεται να προσφέρει στον κλινικό τα πλεονεκτήματα ελέγχου της πίεσης με την παράλληλη εξασφάλιση της σταθερότητας του όγκου.

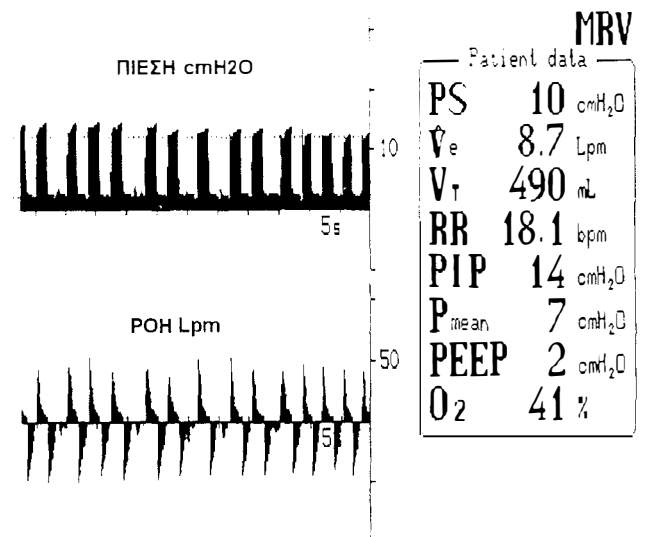
**2.5. Αερισμός με υποχρεωτικό αναπνευστικό ρυθμό (Mandatory Rate Ventilation, MRV)**

Ο MRV είναι ένας τύπος υποβοήθησης με πίεση του αυτόματου αερισμού κατά τον οποίο εξασφαλίζεται σταθερή αναπνευστική συχνότητα, θεωρώντας ότι η αύξηση της αναπνευστικής συχνότητας υποδηλώνει ανεπαρκή υποστήριξη και η μείωση αντίστοιχα αναπνευστική επάρκεια<sup>6</sup>.

Ο κλινικός προεπιλέγει την επιδιωκόμενη αναπνευστική συχνότητα και ο αναπνευστήρας προσαρμόζει το επίπεδο της πίεσης υποστηρίξις συγκρίνοντας τον τρέχοντα αναπνευστικό ρυθμό του ασθενούς με την προεπιλεγμένη συχνότητα. Αν η αναπνευστική συχνότητα του ασθενούς είναι μεγαλύτερη, αυξάνει σταδιακά την πίεση υποβοήθησης ενώ στην αντίθετη περίπτωση την μειώνει αντίστοιχα.



Εικόνα 5



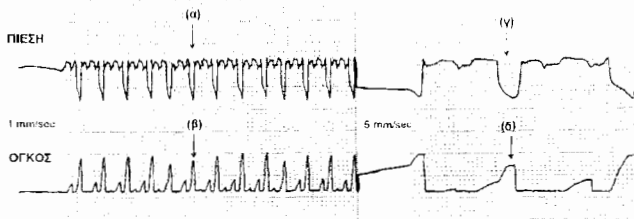
Εικόνα 6

Στην εικόνα 5 φαίνεται η σταδιακή αύξηση της πίεσης υποστηρίξις από τον αναπνευστήρα (από 6 σε 12 cmH<sub>2</sub>O) με στόχο την προσέγγιση της αρχικής αναπνευστικής συχνότητας (22 αναπν./ λεπτό) στον προεπιλεγέντα στόχο των 18 αναπνοών. Στην εικόνα 6 φαίνεται η ελάττωση της πίεσης υποστηρίξις (από 15 σε 12 cmH<sub>2</sub>O) λόγω της μικρότερης τρέχουσας αναπνευστικής συχνότητας του ασθενούς σε σχέση με την προεπιλεγμένη (18 αναπνοές/λεπτό).

Η κύρια ένδειξη του MRV είναι η “αυτοματοποίηση” της διαδικασίας σταδιακής αποδέσμευσης από τον μηχανικό αερισμό με την παραδοχή ότι οι διακυμάνσεις του ρυθμού αναπνοής αντιπροσωπεύουν την αναπνευστική κόπωση ή επάρκεια.

## 2.6. Αερισμός με άρση της θετικής πίεσης των αεραγωγών (Airway Pressure Release Ventilation, APRV)

Ο αερισμός αυτός, που στηρίζεται στην φιλοσοφία των ανοικτών κυκλωμάτων, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε με στόχο τον συνδυασμό της τεχνικής της αντιστροφής του λόγου εισπνοής - εκπνοής και της αυτόματης αναπνοής. Στον ασθενή εφαρμόζεται ένα επίπεδο συνεχούς θετικής πίεσης των αεραγωγών (CPAP) για την διατήρηση της οξυγόνωσης ενώ παράλληλα επιτρέπεται η αυτόματη αναπνοή για την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα. Διαλειπόντως το επίπεδο του CPAP αίρεται για μικρό χρονικό διάστημα σε χαμηλότερα επίπεδα ή πλήρως, επιτρέποντας την επιπρόσθετη παθητική εκπνοή και υποβοήθηση της αποβολής του διοξειδίου του άνθρακα.

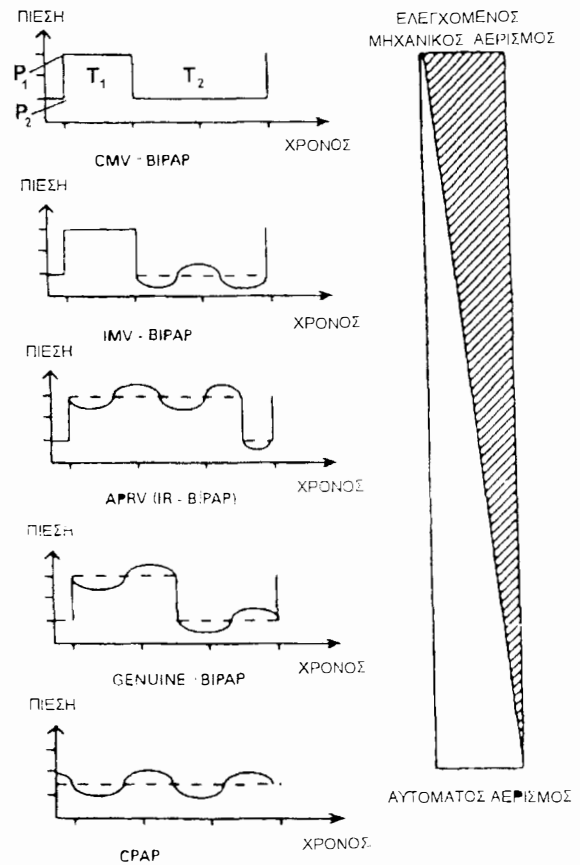


Εικόνα 7

Στην εικόνα 7 φαίνεται η καταγραφή των πιέσεων (α) και των όγκων (β) ασθενούς που αναπνέει αυτόματα και υποστηρίζεται με APRV. Διακρίνεται ότι κατά την άρση της πίεσης (γ) εκπνέεται ο όγκος (δ) ο οποίος είναι σαφώς μεγαλύτερος από την προηγούμενη αυτόματη εκπνοή του ασθενούς. Ο όγκος που αποβάλλεται εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος της άρσης της πίεσης και από τις μηχανικές ιδιότητες των πνευμόνων και του θώρακα<sup>7</sup>.

Ο αερισμός αυτός φαίνεται να βελτιώνει την υποξυγοναιμία και να μην προκαλεί σοβαρή αιμοδυναμική επιβάρυνση. Λόγω του μικρού χρόνου εκπνοής ο APRV δεν έχει πιθανώς ένδειξη σε καταστάσεις αποφρακτικών πνευμονικών παθήσεων.

Το χαρακτηριστικό της άρσης της εφαρμοζόμενης πίεσης για την αύξηση του αερισμού απέτέλεσε αφετηρία για την δημιουργία και εφαρμογή νεότερων τύπων αερισμού. Τα πλεονεκτήματα είναι τα σαφώς χαμηλότερα επίπεδα μέγιστης και μέσης πίεσης των αεραγωγών που επιτυγχάνονται και η ελάττωση έτσι της πιθανότητας βαροτραύματος, όπως και η ευχέρεια αυτόματης αναπνοής σε όλη τη διάρκεια του



Εικόνα 8

αναπνευστικού κύκλου. Η δυνατότητα αερισμού με APRV προσφέρεται σήμερα σε πολλούς σύγχρονους αναπνευστήρες με την μορφή άλλης ονοματολογίας.

## 2.7. Διφασική θετική πίεση των αεραγωγών (Biphasic Positive Airway Pressure, BIPAP)

Ο αερισμός αυτός επιτρέπει την αυτόματη αναπνοή του αρρώστου σε όλη την διάρκεια του αναπνευστικού κύκλου δεδομένου ότι και αυτός στηρίζεται στην φιλοσοφία και λειτουργία των ανοικτών κυκλωμάτων. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα εναλλασσόμενο επίπεδο συνεχούς θετικής πίεσης των αεραγωγών. Καθορίζοντας ένα υψηλό ( $P_1$ ) και ένα χαμηλό ( $P_2$ ) επίπεδο πίεσης (εικόνα 8) καθώς και τον χρόνο διάρκειας αυτών ( $T_1$  και  $T_2$ ) προκαλούμε μεταβολή του πνευμονικού όγκου και ανταλλαγή των αερίων<sup>8</sup>. Ο εκπνεόμενος όγκος ποικίλει ανάλογα με την ευενδοτότητα του συστήματος του θώρακα και των πνευμόνων, τις αντιστάσεις των αεραγωγών και τους καθοριζόμενους χρόνους παραμονής στο υψηλό ( $P_1$ ) και το χαμηλό επίπεδο ( $P_2$ ). Ρυθμίζοντας τις παραπάνω παραμέτρους μπορούμε να επιτύχουμε διάφορα επίπεδα

αναπνευστικής υποστήριξης που κυμαίνονται από την πλήρη αναπνευστική υποστήριξη έως την αυτόματη αναπνοή του ασθενούς (εικόνα 8). Ο BIPAP αποτελεί λοιπόν ένα μίγμα αυτόματου και ελεγχόμενου με πίεση αερισμού. Ο τύπος αυτός αερισμού μας προσφέρει την δυνατότητα (με τις ανάλογες ρυθμίσεις) να επιλέξουμε ένα μόνο τύπο αερισμού και να υποστηρίξουμε τον ασθενή από την διασωλήνωση μέχρι την αποδιασωλήνωση.

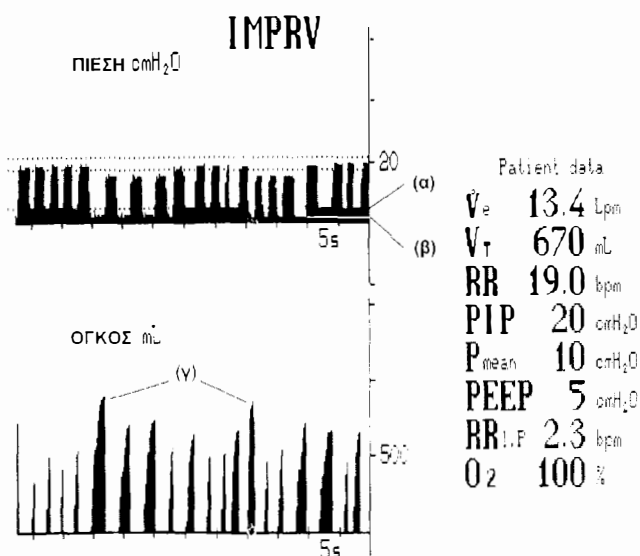
Επειδή ο αερισμός με διαφασική πίεση των αεραγωγών (BIPAP) δεν μπορεί να εγγυηθεί την σταθερότητα του κατά λεπτό αερισμού στον ασθενή, σε ορισμένους αναπνευστήρες νέας τεχνολογίας ενσωματώθηκε το χαρακτηριστικό της «αυτόματης ροής» (auto-Flow). Στον τύπο της μηχανικής αναπνευστικής υποστήριξης με «αυτόματη ροή» ρυθμίζεται ο επιθυμητός αναπνεόμενος όγκος και η αναπνευστική συχνότητα και ο αναπνευστήρας αναλαμβάνει την ρύθμιση της εισπνευστικής ροής. Ο ασθενής μπορεί συγχρόνως να αναπνέει αυτόματα σ' όλη την διάρκεια του αναπνευστικού κύκλου καθώς και να εκλύει τόσο την εισπνοή όσο και την εκπνοή.

### 2.8. Αερισμός με διαλείπουσα υποχρεωτική άρση της θετικής πίεσης (Intermittent Mandatory Pressure Release Ventilation, IMPRV)

Είναι και αυτός ένας τύπος υποβοήθησης του αυτόματου αερισμού στον οποίο επιτυγχάνεται ανταλλαγή αερίων με περιοδική εναλλαγή δύο επιπέδων πίεσης. Η εναλλαγή των επιπέδων καθορίζεται από την αναπνευστική συχνότητα του ασθενούς.

Ο κλινικός προεπιλέγει τον αριθμό των αναπνοών σύμφωνα με τις οποίες γίνεται η εναλλαγή των επιπέδων της θετικής πίεσης και ο αναπνευστήρας συγχρονίζει την υποστήριξη ανάλογα με την αναπνευστική συχνότητα του ασθενούς. Επιπλέον οι αυτόματες αναπνευστικές προσπάθειες μπορούν να υποστηριχθούν με υποβοήθηση πίεσης (IPS) και στα δύο εναλλασσόμενα επίπεδα<sup>6</sup>.

Στην εικόνα 9 διακρίνονται δύο παράλληλες καταγραφές της πίεσης και του εκπνεόμενου όγκου ενός ασθενούς που αναπνέει αυτόματα υπό IMPRV. Ανάλογα με την ρύθμιση του αναπνευστήρα (στο εικονιζόμενο παράδειγμα 5:3), οι αυτόματες αναπνοές του ασθενή προκαλούν την αλλαγή των δύο προεπιλεγμένων επιπέδων πίεσης (α και β). Μόλις ο ασθενής εισπνεύσει 5 φορές στο υψηλό επίπεδο πίεσης (α), η



Εικόνα 9

πίεση μεταπίπτει στο επίπεδο (β) όπου ακολουθούν 3 αναπνοές. Η μετάπτωση στο χαμηλότερο επίπεδο μεταβάλλει την λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα με αποτέλεσμα την αύξηση του εκπνεόμενου όγκου (γ).

Η υποστήριξη του ασθενούς εξαρτάται από την διαφορά των δύο επιπέδων πίεσης που προεπιλέγονται και από την συχνότητα εναλλαγής τους. Η αύξηση της αυτόματης αναπνευστικής συχνότητας προκαλεί συχνότερη μεταβολή των δύο επιπέδων συνεχούς θετικής πίεσης των αεραγωγών και έτσι μεγαλύτερη αναπνευστική υποστήριξη.

Κύρια ένδειξη και αυτού του τύπου μηχανικής υποστήριξης είναι η αποδέσμευση από τον μηχανικό αερισμό και η προσπάθεια μείωσης των αναπνευστικών πιέσεων ενδοθωρακικά.

### 2.9. Αναλογικά υποβοηθούμενος αερισμός (Proportional Assist Ventilation, PAV)

Κατά τον αναλογικά υποβοηθούμενο αερισμό (PAV) η αυτόματη αναπνευστική δραστηριότητα υποστηρίζεται με πίεση ανάλογα με τον αναπνεόμενο όγκο και την εισπνευστική απαίτηση του ασθενούς. Ο αναπνευστήρας υπολογίζει το μέγεθος της υποστήριξης του αυτόματου αερισμού βασιζόμενος σε δύο παραμέτρους (αναπνεόμενος όγκος και εισπνευστική ροή) και προσαρμόζει ανάλογα το επίπεδο πίεσης<sup>6</sup>.

Ο PAV υποστηρίζει χωρίς εισπνευστικό και εκπνευστικό μηχανισμό trigger και δεν επιβαρύνει στο τέλος της εισπνοής τον ασθενή με επιπρόσθετο

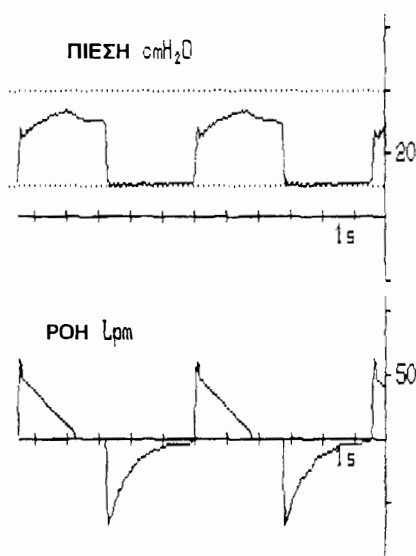
φορτίο πίεσης. Ο ασθενής ωστόσο θα πρέπει να καταβάλει επιπρόσθετο έργο αναπνοής τόσο στην εισπνοή όσο και στην εκπνοή για να υπερνικήσει τις αντιστάσεις ροής του τραχειοσωλήνα.

### 2.10. Αυτόματη αντιστάθμιση των αντιστάσεων του τεχνητού αεραγωγού (Automated Tube Compensation, ATC)

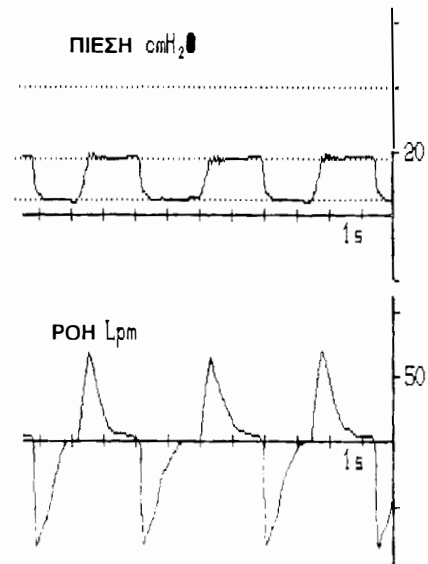
Ο αερισμός με αυτόματη αντιστάθμιση της αντίστασης του τεχνητού αεραγωγού και του αναπνευστικού κυκλώματος (ATC) επιτυγχάνει μεταβαλλόμενη υποστήριξη της αυτόματης αναπνοής η οποία υπολογίζεται από την πτώση της πίεσης που προκαλείται κατά μήκος του τραχειοσωλήνα, τον αναπνεόμενο όγκο και την εισπνευστική ροή του ασθενούς. Η αντίσταση στην εκπνευστική ροή που προκαλεί ο τραχειοσωλήνας αντισταθμίζεται από την μείωση της θετικής εκπνευστικής πίεσης στην αρχή της εκπνοής με στόχο την ελάττωση της πίεσης της τραχείας στο επίπεδο του PEEP όσο το δυνατό γρηγορότερα. Το αποτέλεσμα είναι σχετικά σταθερή πίεση στην τραχεία τόσο κατά την εισπνοή όσο και κατά την εκπνοή («electronic extubation»). Ο τύπος αυτός μηχανικής υποστήριξης της αυτόματης αναπνοής βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό επίπεδο<sup>9</sup>.

### 2.11. Αερισμός με αναστροφή του λόγου εισπνοής - εκπνοής (Inversed Ratio Ventilation, IRV)

Η μέση πίεση των αεραγωγών και ως εκ τούτου ο πνευμονικός όγκος μπορεί να αυξηθεί είτε αυξάνον



Εικόνα 10



Εικόνα 11

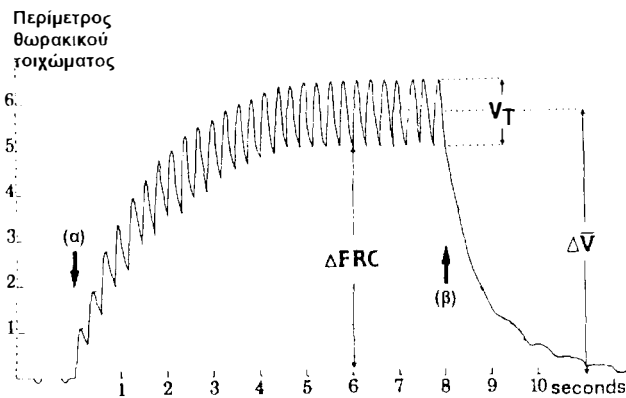
τας την μέγιστη εισπνευστική πίεση, είτε αυξάνοντας τον λόγο εισπνοής-εκπνοής. Η τελευταία προσέγγιση έχει θετική επίπτωση στην οξυγόνωση ενώ η μέγιστη εισπνευστική πίεση παραμένει αμετάβλητη (εικόνα 10). Η αναστροφή λόγου εισπνοής-εκπνοής σε αερισμό ελεγχόμενο από την πίεση (Pressure Control Inversed Ratio Ventilation, PC-IRV) πιθανά υπόσχεται καλύτερη οξυγόνωση και αερισμό σε σχέση με τον συμβατικό αερισμό ενώ συγχρόνως προφυλάσσει από το βαροτραύμα (εικόνα 11). Η δημιουργία όμως ενδογενούς θετικής τελοεκπνευστικής πίεσης (intrinsic PEEP ή auto PEEP), λόγω παγίδευσης αέρα εξαιτίας της σημαντικής μείωσης του εκπνευστικού χρόνου, παραμένει ένας υπαρκτός κίνδυνος<sup>10</sup>.

Η μορφή αυτή αερισμού επιστρατεύεται σε καταστάσεις σοβαρής πνευμονικής βλάβης με δραματική ελάττωση της ευενδοτότητας και της οξυγόνωσης σε ασθενείς υπό καταστολή και πιθανώς και μυοχάλαση.

### 2.12. Υψίσυχνος αερισμός (High-Frequency ventilation, HFV)

Ο όρος περιλαμβάνει τρεις κύριες τεχνικές: τον υψίσυχο αερισμό θετικής πίεσης (High Frequency Positive Pressure Ventilation, HFPPV), τον υψίσυχο αερισμό ταχείας εμφύσησης (High Frequency Jet Ventilation, HFJV) και τον αερισμό με υψηλή συχνότητα ταλαντώσεων (High Frequency Oscillation)<sup>11</sup>. Η μεγαλύτερη εμπειρία υπάρχει με τον υψίσυχο αερισμό ταχείας εμφύσησης.

Ο υψίσυχνος αερισμός ταχείας εμφύσησης (High



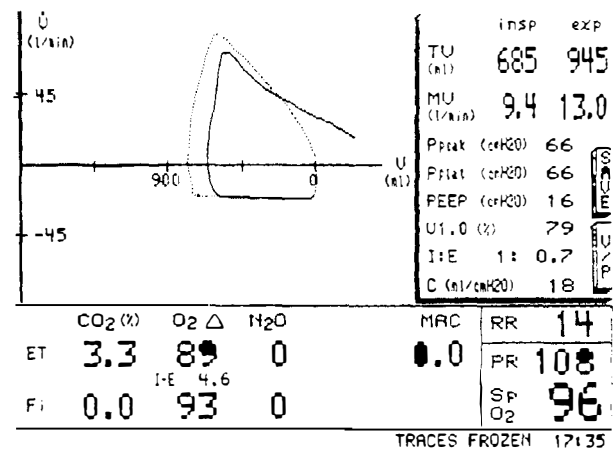
Εικόνα 12

Frequency Jet Ventilation, HFJV) είναι ένας τύπος ελεγχόμενου αερισμού ο οποίος μπορεί να εφαρμοστεί από αναπνευστήρες που έχουν την δυνατότητα να χορηγούν «αναπνοές» σύντομες με μεγάλη ταχύτητα ροής και με συχνότητα 60-600/λεπτό. Η κατανομή των αερίων είναι σύνθετη και καθορίζεται κυρίως από τους μικρούς αεραγωγούς παρά από την πνευμονική ευενδοτότητα. Στην εικόνα 12 φαίνεται η μεταβολή της περιμέτρου του θωρακικού τοιχώματος από την έναρξη (α) έως το τέλος (β) της εμφύσησης με υψίσυχνο διαλείποντα αερισμό. Οι μεταβολές του πνευμονικού όγκου δεν μπορούν να ελεγχθούν εύκολα στην κλινική πράξη ενώ αντίθετα παρακολουθείται η μέση πίεση των αεραγωγών η οποία φαίνεται ότι αντανακλά την μέση κυψελιδική πίεση.

Η εφαρμογή του υψίσυχνου αερισμού ταχείας εμφύσησης έχει εφαρμοστεί κυρίως σε ασθενείς με βρογχοϋπεζωκοτικά συρίγγια με σκοπό την ελαχιστοποίηση της πίεσης των αεραγωγών και έτσι την ελάττωση της διαφυγής διά μέσω του βρογχοϋπεζωκοτικού συριγγίου. Μια άλλη εφαρμογή του υψίσυχνου αερισμού είναι οι χειρουργικές επεμβάσεις της τραχείας. Ο αερισμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στα πρώιμα στάδια του συνδρόμου αναπνευστικής δυσχέρειας, αλλά δεν προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι του PC-IRV σε όψιμα στάδια του συνδρόμου.

### 2.13. Ενδοτραχειακή εμφύσηση οξυγόνου (Tracheal Gas Insufflation, TGI)

Κατά την ενδοτραχειακή εμφύσηση χορηγείται οξυγόνο με συνεχή ροή εντός της τραχείας με στόχο την βελτίωση της οξυγόνωσης και την αύξηση της αποβολής διοξειδίου του άνθρακα<sup>12</sup>. Προκαλείται έτσι ο λεγόμενος «απνοϊκός αερισμός» ή «αερισμός με διά-



Εικόνα 13

χυση» ή «απνοϊκή διάχυση». Η ενδοτραχειακή εμφύσηση εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τον μηχανικό αερισμό του ασθενούς (μόνη αποδείχτηκε ανεπαρκής στην αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα) και συνήθως επιτυγχάνεται με καθετήρα ο οποίος διέρχεται δια μέσω του ενδοτραχειακού σωλήνα ομοαξονικά. Η αύξηση της ροής του οξυγόνου διά μέσω του καθετήρα βελτιώνει την ανταλλαγή των αερίων, αυξάνει όμως τις πιθανότητες τραύματος του επιθηλίου της τραχείας και δημιουργίας ενδογενούς θετικής τελο-εκπνευστικής πίεσης (auto-PEEP).

Η εικόνα 13 παρουσιάζει την καταγραφή δύο καμπυλών ροής-όγκου στον ίδιο ασθενή. Η σιλική καμπύλη αναφέρεται σε αναπνευστικό κύκλο κατά τον οποίο δεν εφαρμόζεται εμφύσηση. Η συνεχής ανοικτή καμπύλη (η εκπνευστική ροή δεν μηδενίζεται λόγω της εμφύσησης) αναφέρεται σε στιγμή κατά την οποία ο ασθενής βρίσκεται σε εμφύσηση οξυγόνου κατά την εκπνοή με την βοήθεια πρωτότυπης συσκευής<sup>13</sup>.

Ο έλεγχος της λειτουργίας του αναπνευστικού συστήματος κατά την ενδοτραχειακή εμφύσηση διά μέσω του αναπνευστήρα είναι δύσκολος και ανακριβής και οι κίνδυνοι αύξησης της πίεσης των αεραγωγών και δημιουργίας βαροτραύματος είναι αυξημένοι.

Η συνεχής ενδοτραχειακή εμφύσηση βελτιώνει τόσο την οξυγόνωση όσο και την αποβολή διοξειδίου του άνθρακα. Τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται πιθανώς σε διάφορους μηχανισμούς όπως η έκπλυση του νεκρού χώρου, ο στροβιλισμός και η διάχυση των αερίων και οι περιοχικές μεταβολές της σχέσης αερισμού αιμάτωσης.

Οι κλινικές ενδείξεις της συνεχούς ή διαλείπουσας ενδοτραχειακής εμφύσησης είναι η σοβαρή μη άλλως



αντιροπούμενη υποξυγοναιμία, η πρόληψη της υποξυγοναιμίας κατά την ενδοτραχειακή αναρρόφηση και η υποβοήθηση της αποβολής του διοξειδίου του άνθρακα κατά τον μηχανικό αερισμό ασθενών με σύνδρομο αναπνευστικής δυσχέρειας. Πρόσφατα η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της αναπνευστικής οξέωσης κατά την «επιτρεπτή» υπερκαπνία (Permissive hypercapnia).

#### 2.14. “Υγρός” αερισμός (Liquid Ventilation)

Η δημιουργία υλικών όπως οι πεφλουροάνθρακες (perfluorocarbons), με φυσικές ιδιότητες συμβατές για τα βιολογικά συστήματα και την δυνατότητα να προσλαμβάνουν και να αποδίδουν οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα, έδωσε ώθηση στον πειραματισμό για την διατήρηση της ανταλλαγής των αερίων στους πνεύμονες. Η μέθοδος εφαρμόστηκε πρώτα σε πειραματόζωα με την χρησιμοποίηση ειδικών συσκευών για την κυκλοφορία του perflurbon και την εφαρμογή του “ολικού υγρού αερισμού” (Total Liquid Ventilation, TLV)<sup>14</sup>. Η μορφή αυτή του αερισμού δοκιμάστηκε και σε νεογνά στα οποία απέτυχε η θεραπεία με σουρφακτάνη. Στη συνέχεια δοκιμάστηκε η τεχνική κατά την οποία οι πνεύμονες γέμισαν με perflurbon μέχρι την λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα και ακολούθως εφαρμόστηκε συμβατικός μηχανικός αερισμός. Η τεχνική ονομάστηκε «μερικός υγρός αερισμός» (Partial Liquid Ventilation, PLV) και δεν απαιτεί την χρήση νέων ειδικών συσκευών.

Ο υγρός αερισμός, ολικός ή μερικός, βελτιώνει την πνευμονική λειτουργία και την ανταλλαγή αερίων σε ασθενείς με έλλειψη σουρφακτάνης καθώς και σε ασθενείς με σύνδρομο αναπνευστικής δυσχέρειας, επανεκπύσσοντας τις κυψελίδες στις υποκείμενες περιοχές των πνευμόνων και ανακατανέμοντας την πνευμονική αιματική ροή σε περιοχές των πνευμόνων

με μεγαλύτερο αερισμό βελτιώνοντας έτσι την σχέση αερισμού-αιμάτωσης. Η τεχνική βρίσκεται ακόμα στα πρώτα στάδια εφαρμογής της και υπόσχεται ίσως αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των ασθενών με βαρεία αναπνευστική ανεπάρκεια.

#### 2.15. Μη επεμβατικός αερισμός (Non-Invasive Ventilation, NIV)

Η οξεία αναπνευστική ανεπάρκεια απαιτεί συνήθως μηχανικό αερισμό των πνευμόνων δια μέσω ενδοτραχειακού σωλήνα εφ’ όσον οι συμβατικές θεραπείες (O<sub>2</sub> και φάρμακα) αποτυγχάνουν. Η εισαγωγή και η παραμονή όμως του ενδοτραχειακού σωλήνα προκαλεί τραυματισμό στα σημεία επαφής, φλεγμονή, άγχος και δυσανεξία στον ασθενή τα οποία απαιτούν τις περισσότερες φορές καταστολή. Επιπρόσθετα επηρεάζει τους αμυντικούς μηχανισμούς των ανώτερων αεροφόρων οδών με αποτέλεσμα τον κίνδυνο σοβαρών επιπλοκών όπως νοσοκομειακή πνευμονία, παραρρινοκολπίτιδα κ.ά.

Ο μη επεμβατικός αερισμός με την βοήθεια “προσωπικής” ή ρινικής προσωπίδας μπορεί να ελαττώσει την δυσανεξία του ασθενή και την συχνότητα των επιπλοκών που προκαλούνται από την παρουσία του ενδοτραχειακού σωλήνα. Επιπλέον επιτρέπει την ομιλία και διατηρεί τα αντανακλαστικά των αεραγωγών. Ένας από τους τύπους αερισμού που έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία είναι ο αερισμός με άσκηση θετικής πίεσης δύο επιπέδων στους αεραγωγούς (BiPAP)<sup>15</sup>.

Ο μη επεμβατικός αερισμός αναφέρεται ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε ασθενείς με χρόνιες αποφρακτικές πνευμονοπάθειες καθώς και σε ασθενείς με οξεία αναπνευστική ανεπάρκεια άλλης αιτιολογίας (καρδιογενές και μη καρδιογενές πνευμονικό οίδημα, μετεγχειρητική αναπνευστική ανεπάρκεια, πνευμονία με σοβαρή υποξαιμία κ.ά.).

**Γλωσσάριο ειδικών όρων και συντηρήσεων**

<b>AMV</b>	<i>Assisted Mechanical Ventilation</i> (Υποβοηθούμενος μηχανικός αερισμός)
<b>APRV</b>	<i>Airway Pressure Release Ventilation</i> (Αερισμός με άρση της θετικής πίεσης των αεραγωγών)
<b>ASB</b>	<i>Assisted Spontaneous Breathing</i> (Υποβοηθούμενος αυτόματος αερισμός)
<b>ATC</b>	<i>Automated Tube Compensation</i> (Αυτόματη αντιστάθμιση των αντιστάσεων του τεχνητού αεραγωγού)
<b>BIPAP</b>	<i>Bilevel Positive Airway Pressure</i> (Διφασική θετική πίεση των αεραγωγών)
<b>CMV</b>	<i>Controlled Mechanical Ventilation</i> (Ελεγχόμενος μηχανικός αερισμός)
<b>CPAP</b>	<i>Continuous Positive Airway Pressure</i> (Συνεχής θετική πίεση των αεραγωγών)
<b>HFJV</b>	<i>High Frequency Jet Ventilation</i> (Υψίσυχνος αερισμός ταχείας εμφύσησης)
<b>HFPPV</b>	<i>High Frequency Positive Pressure Ventilation</i> (Υψηλής συχνότητας θετικής πίεσης αερισμός)
<b>HFV</b>	<i>High Frequency Ventilation</i> (Αερισμός υψηλής συχνότητας)
<b>IMPRV</b>	<i>Intermittent Mandatory Pressure Release Ventilation</i> (Αερισμός με διαλείπουσα υποχρεωτική άρση της θετικής πίεσης)
<b>IMV</b>	<i>Intermittent Mandatory Ventilation</i> (Διαλείπων υποχρεωτικός αερισμός)
<b>IPS</b>	<i>Inspiratory Pressure Support</i> (Εισπνευστική υποβοήθηση της πίεσης)
<b>IPSV</b>	<i>Inspiratory Pressure Support Ventilation</i> (Αερισμός με εισπνευστική υποβοήθηση της πίεσης)
<b>LV</b>	<i>Liquid Ventilation</i> (Υγρός αερισμός)
<b>MMV</b>	<i>Mandatory Minute Volume</i> (Υποχρεωτικός κατά λεπτό όγκος)
<b>MMVV</b>	<i>Minimum Minute Volume Ventilation</i> (Αερισμός με ελάχιστο κατά λεπτό όγκο)
<b>NIV</b>	<i>Non Invasive Ventilation</i> (Μη επεμβατικός αερισμός)
<b>PAV</b>	<i>Proportional Assist Ventilation</i> (Αναλογικά υποβοηθούμενος αερισμός)
<b>PC-IRV</b>	<i>Pressure Control Inversed Ratio Ventilation</i> (Αερισμός με αντιστροφή λόγου και ελεγχόμενος με πίεση)
<b>PCV</b>	<i>Pressure Control Ventilation</i> (Ελεγχόμενος με πίεση αερισμός)
<b>PEEP</b>	<i>Positive End Expiratory Pressure</i> (Θετική τελοεκπνευστική πίεση)
<b>SIMV</b>	<i>Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation</i> (Συγχρονισμένος διαλείπων υποχρεωτικός αερισμός)
<b>TGI</b>	<i>Tracheal Gas Insufflation</i> (Διατραχειακή εμφύσηση οξυγόνου)

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. R. R. Kirby et al. Clinical applications of ventilatory support. New York: Churchill Livingstone, 1990.
2. J. F. Nunn. Nunn's Applied Respiratory Physiology. Oxford: Butterworth - Heinemann, 1993.
3. N. R. MacIntyre. Graphical analysis of Flow Pressure and Volume during mechanical ventilation. Bear Medical Systems Inc., 1991.
4. J. J. Marini et al. Re-targeting ventilatory objectives in adult respiratory distress syndrome. New treatment prospects. Persistent questions. Am Rev Respir Dis 1992; 146:2-3.
5. J. B. Andersen. Improved care for the critically ill. Preliminary edition. Hvidovre, Denmark. Siemens, 1992.
6. Users' manual Cesar ventilator, version 3.00, 7/94, Air Liquide.
7. Σέτζης και συν. Αερισμός των πνευμόνων με άρση της θετικής πίεσης (APRV) στη ΜΕΘ. Βιβλίο περιλήψεων Ιου Συνεδρίου Αναισθησιολογίας και Εντατικής Ιατρικής, 1990: Α-25.
8. Ch. Hormann et al. Biphasic positive airway pressure (BIPAP) - a new mode of ventilatory support. European Journal of Anaesthesiology, 1994; 11:37-42.

9. R Stöcker et al. New modes of ventilatory support in spontaneously breathing patients. Yearbook of intensive care and emergency medicine. Brussels: Springer Verlag, 1997.
  10. TW Marcy et al. Inverse ratio ventilation in ARDS. Rationale and implementation. Chest 1991; 100:494-504.
  11. J. J. Rouby. High Frequency Ventilation. Update of Intensive Care and Emergency Medicine. Brussels: Springer Verlag, 1990.
  12. F. Brunet et al. Tracheal Gas Insufflation in ARDS. Yearbook of intensive care and emergency medicine. Brussels: Springer Verlag, 1997.
  13. D. Setzis et al. Augmentation of oxygenation by a new intratracheal gas insufflation system during mechanical ventilation in ARDS. British Journal of Anaesthesia 1995; 74S:A 387.
  14. R. B. Hirschl. Experience in Liquid Ventilation. Yearbook of intensive care and emergency medicine. Brussels: Springer Verlag, 1997.
  15. G. Conti et al. Non-Invasive Ventilation. Yearbook of intensive care and emergency medicine. Brussels: Springer Verlag, 1997.
-