

# Monitoring του Αναπνευστικού Συστήματος (μηχανική της αναπνοής, καπνογραφία, παλμική οξυμετρία, αέρια αίματος)

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΤΕΡΖΕΝΙΔΟΥ, ΕΥΘΥΜΙΑ ΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ, ΔΗΜΗΤΡΑ ΓΚΛΑΒΑ, ΕΛΕΝΗ ΜΟΥΛΟΥΔΗ

## 1. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ

Η κατανόηση της λειτουργίας του αναπνευστικού συστήματος και η εφαρμογή της σε ασθενείς με μηχανικό αερισμό, απαιτεί τη μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων του, καθώς οι μεταβολές τους έχουν κλινική σημασία, και αφορούν:

Την Αντίσταση (Resistance) R

Την Ενδοτικότητα (Compliance) C

Την Ελαστικότητα (Elastance) E

Την Ενδογενή PEEPi – την δυναμική υπερδιάταση

### 1α. Αντίσταση (Resistance)

Η ιδιότητα ενός συστήματος να αντιστέκεται στην κίνηση λόγω της τριβής είναι η αντίσταση (R).

Ο αέρας είναι ρευστό υλικό και ως εκ τούτου οι νόμοι που διέπουν την κίνησή του μέσα και έξω από τους πνεύμονες είναι οι ίδιοι με αυτούς των ρευστών.

Η ύπαρξη διαφοράς πίεσης ( $\Delta P$ ) μεταξύ των δυο άκρων ενός σωλήνα με σκοπό την υπερνίκηση της αντίστασης (R) που οφείλεται στην τριβή, δημιουργεί τη ροή ( $V'$ ).

$$\text{Συνεπώς } R = \Delta P / V' \text{ και } \Delta P = R \cdot V'$$

Επομένως, στους αεραγωγούς εμφανίζεται ροή αέρα ( $V'$  σε L/sec) επειδή υπάρχει διαφορά πίεσης ( $\Delta P$ ) μεταξύ των δύο σημείων τους, όταν αυτοί είναι ανοικτοί.

Η ροή διακρίνεται σε γραμμική και στροβιλώδη ροή, και για το αναπνευστικό σύστημα, στην τραχεία και τους μεγάλους βρόγχους (λόγω της μικρής συνολικής διαμέτρου των αεραγωγών – η τραχεία έχει διάμετρο 2,5cm) είναι στροβιλώδης και με τις αντιστάσεις μεγάλες, ενώ αντίθετα στα βρογχόλια (λόγω της μεγάλης συνολικής διαμέτρου τους- κάθε πνεύμονας έχει 35.000 περίπου τελικά βρογχόλια διαμέτρου 0,5-1mm) η ροή του αέρα είναι βραδεία και γραμμική και με μικρές αντιστάσεις.

Η αντίσταση λοιπόν στη ροή, είναι ανάλογη του μήκους του σωλήνα (L) και αντιστρόφως ανάλογη της 4ης δύναμης της ακτίνας (r) του σωλήνα για τη γραμμική ροή, και της 5ης για τη στροβιλώδη ροή.

$$R = \mu L 8 / \pi r^4 \text{ και } R = \mu L 8 / \pi r^5$$

Όπου  $\mu$  είναι το ιξώδες (γλοιότητα) του αερίου και  $\pi$  μια σταθερά (3.14).

Σε φυσιολογικό ρυθμό εισπνευστικών ροών 1L/sec, η  $\Delta P$  είναι από 4 έως 10 cmH<sub>2</sub>O. Σε σταθερή ροή, η αύξησή της μπορεί να δείχνει για παράδειγμα επιδείνωση του βρογχόσπασμου ή απόφραξη του τραχειοσωλήνα από εκκρίσεις.

Η ελάττωσή της έχει εκτιμηθεί σαν δείκτης της βρογχοδιασταλτικής απάντησης σε ασθενείς με μηχανικό αερισμό και κυρίως με Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ).

### 1β. Ενδοτικότητα (Compliance) C

Ενδοτικότητα είναι το πηλίκο μεταβολής του όγκου δια της μεταβολής της πίεσης.

$$C = \Delta V / \Delta P \text{ και } \Delta P = \Delta V / C$$

Όπου V σε λίτρα και P σε cm H<sub>2</sub>O

Μπορεί να προσδιορισθεί η ενδοτικότητα του θωρακικού τοιχώματος, η ενδοτικότητα των πνευμόνων και η ολική ενδοτικότητα.

Η ενδοτικότητα των πνευμόνων ορίζεται ως η μεταβολή του όγκου του πνεύμονα δια της μεταβολής της διαπνευμονικής πίεσης, και είναι φυσιολογικά 150-200 ml/cmH<sub>2</sub>O.

Η ελάττωση της compliance δείχνει υπερβολικά μεγάλο αναπνεύσιμο όγκο ή αυξημένες δυνάμεις ελαστικής επαφοράς του αναπνευστικού συστήματος, όπως σε σύνδρομο οξείας αναπνευστικής δυσχέρειας (ARDS), σε αυ-

ξημένη ενδοκοιλιακή πίεση και πνευμονική ίνωση. Η ενδοτικότητα είναι το αντίστροφο της ελαστικότητας, δηλ. σε αυξημένη ενδοτικότητα είναι μειωμένη η ελαστικότητα.

### 1γ. Ελαστικότητα (Elastance) E

Η μεταβολή της δύναμης/πίεσης που προκαλείται από κάθε μονάδα μεταβολής του όγκου (ή διαστάσεων) είναι η ελαστικότητα.

Είναι το μέτρο που εκφράζει την ιδιότητα ενός συστήματος να ανθίσταται στη μεταβολή του όγκου του (ή των διαστάσεων).

$$E(\text{cmH}_2\text{O/L}) = \Delta P / \Delta V \text{ και } \Delta P = \Delta V \cdot E$$

Και όπως φαίνεται, η ελαστικότητα είναι το αντίστροφο της ενδοτικότητας,  $E = 1/C$ .

### 1δ. Ενδογενής τελοεκπνευστική πίεση (PEEPi)

#### – Δυναμική υπερδιάταση

Η PEEPi συνδυάζεται συνήθως με δυναμική υπερδιάταση, όμως ενδογενής PEEP και δυναμική υπερδιάταση δεν εί-

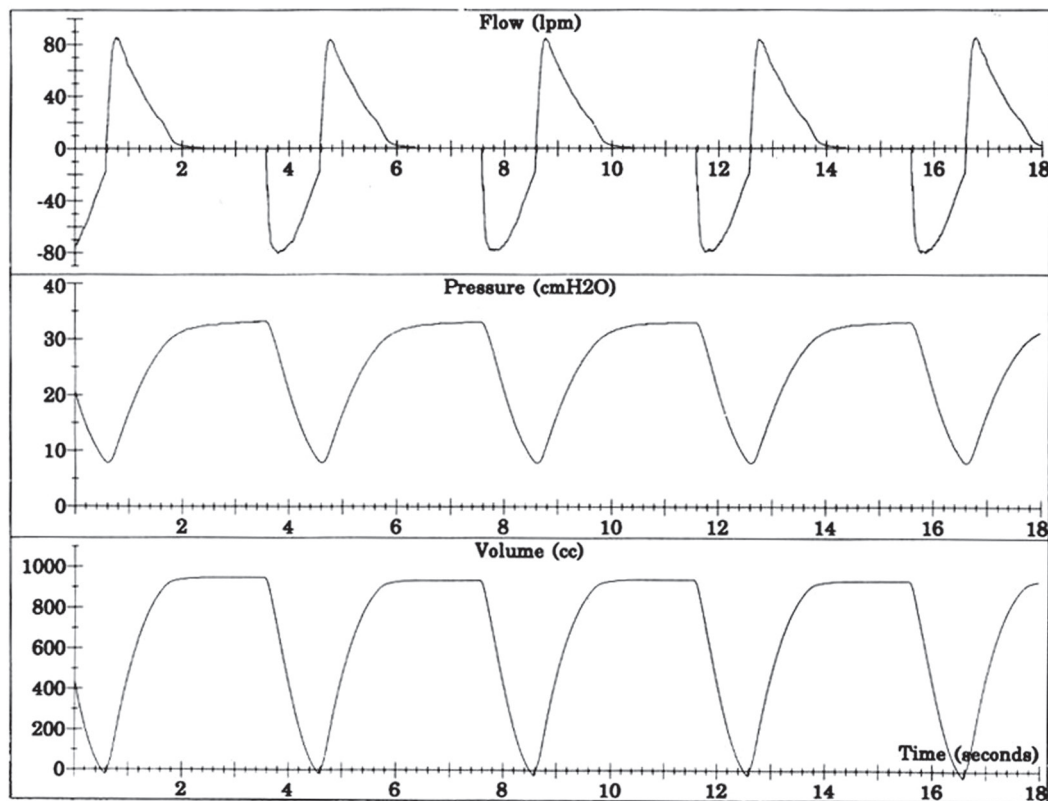
ναι ταυτόσημες έννοιες.

Η ενδογενής PEEP αντιπροσωπεύει την κυψελιδική πίεση στο τέλος της εκπνοής (τελοεκπνευστική πίεση), ενώ η δυναμική υπερδιάταση σχετίζεται με τη διαπνευμονική πίεση, που είναι η διαφορά μεταξύ της κυψελιδικής και της ενδοϋπεζωκοτικής πίεσης. Σε ασθενείς με παροξυσμό ΧΑΠ ή βαριά κρίση άσθματος, ο πνευμονικός όγκος παραμένει υψηλότερος από τον όγκο ισορροπίας, φαινόμενο που ορίζεται ως δυναμική υπερδιάταση. Φυσιολογικά ο όγκος που καταλαμβάνει ο πνεύμονας στο τέλος μιας ήρεμης εκπνοής αντιστοιχεί στο επίπεδο της λειτουργικής υπολειπόμενης χωρητικότητας (FRC–Functional residual capacity).

Ενδεικτικό σημείο δυναμικής υπερδιάτασης σε αεριζόμενο ασθενή με ελεγχόμενο μοντέλο μπορεί να φανεί στην καμπύλη ροής-χρόνου με παράταση της εκπνευστικής ροής χωρίς μηδενισμό της μέχρι την επόμενη εισπνοή που θα δώσει ο αναπνευστήρας (εικόνα 1).

## 2. ΚΑΠΝΟΓΡΑΦΙΑ

Η Καπνογραφία αναφέρεται στην μέτρηση και καταγρα-



**Εικόνα 1.** Ο ασθενής λόγω του μικρού χρόνου εκπνοής δεν φθάνει σε παθητική FRC και ο αναπνευστήρας χορηγεί εισπνευστική πίεση, ενώ υπάρχει εκπνευστική ροή (γαλάζιο βέλος) που δημιουργείται από την ελαστική πίεση επαναφοράς (ενδογενή PEEP). Η κατάσταση αυτή ονομάζεται δυναμική υπερδιάταση

φή της μερικής πίεσης του εκπνεόμενου διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) καθ' όλη την διάρκεια του αναπνευστικού κύκλου. Το  $\text{CO}_2$  παράγεται στους ιστούς, μεταφέρεται με την κυκλοφορία προς τους πνεύμονες από όπου και αποβάλλεται μέσω του αναπνευστικού κυκλώματος. Έτσι, η καπνογραφία προσφέρει πληροφορίες για όλη την αλυσίδα παραγωγής, διακίνησης και αποβολής του  $\text{CO}_2$ .

Η καπνογραφία αποτελεί μια μη επεμβατική μέθοδος συνεχούς παρακολούθησης του εκπνεόμενου  $\text{CO}_2$  με την μορφή κυματομορφής, κατά τη χρονική διάρκεια ενός πλήρους αναπνευστικού κύκλου. Η συγκέντρωση του  $\text{CO}_2$  κλασικά υπολογίζεται από αναλυτή του υπέρυθρου φωτός που τοποθετείται στο στόμα, τη μύτη ή στην αρχή του ενδοτραχειακού σωλήνα.

Το φυσιολογικό καπνογράφημα αποτελείται από τέσσερις φάσεις (εικόνα 2).

#### ΦΑΣΗ 1 (ΝΕΚΡΟΣ ΧΩΡΟΣ)

Αντιπροσωπεύει το τέλος της εισπνοής και την αρχή της εκπνοής, όπου η μερική πίεση του  $\text{CO}_2$  στον ανατομικό νεκρό χώρο πρακτικά είναι μηδέν.

#### ΦΑΣΗ 2

Αντιπροσωπεύει την ταχέως αυξανόμενη μερική πίεση του  $\text{CO}_2$ , καθώς ο εκπνεόμενος κυψελιδικός αέρας αναμειγνύεται με τον αέρα του νεκρού χώρου.

#### ΦΑΣΗ 3

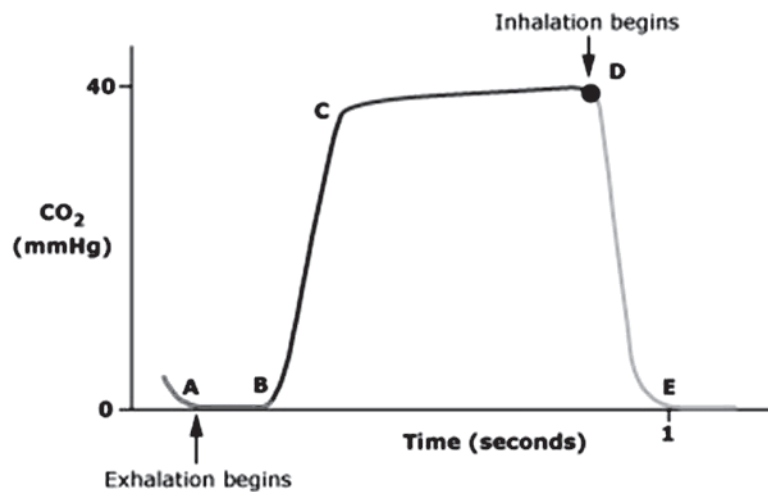
##### (ΕΠΙΠΕΔΟΜΕΝΗ ΚΑΜΠΥΛΗ – Plateau)

Αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο διάστημα της εκπνοής, όπου η καμπύλη επιπεδώνεται (Plateau) αντανακλώντας τον μικτό κυψελιδικό αέρα με την μέγιστη συγκέντρωση  $\text{CO}_2$ . Η τιμή που λαμβάνεται στο τέλος της Plateau ονομάζεται τελοεκπνευστική μερική πίεση του  $\text{CO}_2$  ( $\text{PetCO}_2$ ). Στη συνέχεια το εκπνεόμενο  $\text{CO}_2$  μειώνεται σταδιακά και μηδενίζεται πριν την έναρξη της εισπνοής.

#### ΦΑΣΗ 4

Το εκπνεόμενο  $\text{CO}_2$  παραμένει μηδενικό σε όλη τη διάρκεια της εισπνοής.

Σε ασθενείς με φυσιολογική πνευμονική λειτουργία η διαφορά της  $\text{PetCO}_2$  από την  $\text{PaCO}_2$  του αρτηριακού αίματος κυμαίνεται από 0–5 mmHg.



Εικόνα 2. Καπνογράφημα

A - B: αερισμός νεκρού χώρου  
B - C: αρχική εκπνευστική φάση

C - D: κυψελιδικό Plateau  
D: τελοεκπνευστικό  $\text{CO}_2$

D - E: εισπνευστική φάση

## ΚΛΙΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΚΑΠΝΟΓΡΑΦΙΑΣ

- Επιβεβαίωση θέσης ενδοτραχειακού σωλήνα
- Δείκτης της αποτελεσματικότητας της ΚΑΡΠΑ
- Κατά την διάρκεια αποδέσμευσης από τον μηχανικό αερισμό
- Πρόγνωση καρδιακής ανακοπής
- Παρακολούθηση καρδιακής παροχής (χαμηλή)
- Βρογχοσκόπηση
- Οξεία πνευμονική εμβολή
- Πνευμονία
- Πνευμονικό οίδημα
- Τιτλοποίηση PetCO<sub>2</sub> σε ασθενείς με ενδοκράνια υπέρταση
- Συνεχές monitoring θέσης τραχειοσωλήνα κατά την διακομιδή
- Δείκτης επάρκειας αερισμού

## ΑΙΤΙΕΣ ΥΨΗΛΗΣ Ή ΧΑΜΗΛΗΣ PetCO<sub>2</sub>

### α. Αυξημένη PetCO<sub>2</sub>, αυξημένη παραγωγή ή προσφορά CO<sub>2</sub>

Κακοήθη υπερθερμία, πυρετός, σήψη, σπασμοί, αυξημένος μεταβολικός ρυθμός ή μυοσκελετική δραστηριότητα, χορήγηση διττανθρακικών, λαπαροσκοπική χειρουργική, αφαίρεση ίσχαμης περιόδου. Σε υποαερισμό (ΧΑΠ, νευρομυϊκή παράλυση ή δυσλειτουργία, καταστολή ΚΝΣ, μεταβολική αλκάλωση (σε αυτόματη αναπνοή, φαρμακευτικές παρενέργειες) και σε προβλήματα εξοπλισμού (επανεισπνοή, δυσλειτουργία εισπνευστικής και εκπνευστικής βαλβίδας αναπνευστήρα).

### β. Χαμηλή PetCO<sub>2</sub>, μειωμένη παραγωγή CO<sub>2</sub>

Υποθερμία, ελαττωμένη άρδευση πνεύμονα, χαμηλή καρδιακή παροχή, πνευμονική εμβολή, αιμορραγία, υπόταση, υποβολαιμία, φαρμακευτικές παρενέργειες. Σε υπεραερισμό (πόνος, διέγερση, χαμηλή καταστολή ασθενούς, μεταβολική οξέωση, φαρμακευτικές παρενέργειες) και σε προβλήματα εξοπλισμού (αποσύνδεση αναπνευστήρα, οισοφαγική διασωλήνωση, διασωλήνωση βρόγχου, απόφραξη αεραγωγού ή άπνοια, διαρροές από τον τραχειοσωλήνα/αεραγωγό.

## 3. ΠΑΛΜΙΚΗ ΟΞΥΜΕΤΡΙΑ

Η εισαγωγή της παλμικής οξύμετρίας αποτέλεσε μια από τις σημαντικότερες προόδους στην συνεχή παρακολούθηση

ση (monitoring) του αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος των ασθενών, όχι μόνο μέσα στο χειρουργείο και την ΜΕΘ αλλά και σε όλους τους χώρους νοσηλείας ασθενών. Η παλμική οξύμετρία χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει τον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο στο αίμα. Το αποτέλεσμα της χρησιμοποιείται σαν γενικός δείκτης της μεταφοράς οξυγόνου στους περιφερικούς ιστούς, όπως το δάχτυλο του χεριού ή ο λοβός του αυτιού. Η **τεχνολογία** της παλμικής οξύμετρίας χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά της απορρόφησης του φωτός από την αιμοσφαιρίνη και τον παλμικό τρόπο ροής του αίματος στις αρτηρίες. Ο αισθητήρας διαθέτει διοδικές λυχνίες που εκπέμπουν φως στο μήκος κύματος του ερυθρού (δηλ. 660nm) και του υπέρυθρου (940nm). Η απορρόφηση σε αυτά τα μήκη κύματος διαφέρει σημαντικά μεταξύ της οξυαιμοσφαιρίνης και της αναχθείσας αιμοσφαιρίνης και είναι δυνατόν από την αναλογία απορρόφησης ερυθρού/ υπέρυθρου φωτός να υπολογιστεί η αναλογία οξυ/αναχθείσας Hb. Το σήμα που παράγεται συμπίπτει χρονικά με τον καρδιακό παλμό επειδή οι αρτηρίες συστέλλονται και διαστέλλονται σε κάθε παλμό. Ο εντοπισμός του παλμού αποτελεί το σήμα. Η απλότητα στην εφαρμογή σε συνδυασμό με την μεγάλη κλινική χρησιμότητα καθιέρωσαν το παλμικό οξύμετρο ως τη πιο σημαντική και διαδεδομένη συσκευή Monitoring.

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

**1. Ακρίβεια μετρήσεων:** οι σύγχρονοι αισθητήρες εμφανίζουν απόκλιση έως 2% για κορεσμό 70-100% και 3% για κορεσμό 50-70%

**2. Ευχρηστία:** γρήγορη και απλή εφαρμογή, μικρός χρόνος ανταπόκρισης, μη επεμβατική μέθοδος, συσκευές συμπαγείς και μικρού βάρους (φορητές) με σημαντική αυτονομία, με οπτικές και ηχητικές ενδείξεις

**3. Κλινική σημασία:** συνεχές Monitoring, εκτίμηση καρδιακού ρυθμού, ποιοτική εκτίμηση της περιφερικής κυκλοφορίας, δυνατότητα συνεκτίμησης-συνδυασμού αναπνευστικών και κυκλοφορικών παραμέτρων

## ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ

Σε ασθενείς με δυνητικό κίνδυνο υποξαιμίας (αναπνευστικούς, καρδιολογικούς αρρώστους), κατά την διάρκεια αναισθησίας, στην μετααναισθητική φροντίδα, στα ΤΕΠ (εκτίμηση οξείας δύσπνοιας), στη χειρουργική, στη ΜΕΘ, για την παρακολούθηση κατά την μεταφορά βαρέως πασχόντων ασθενών, σε επεμβατικές διαδικασίες (βρογχοσκόπηση) και στη δοκιμασία άπνοιας για διαγνωστικούς λόγους.

## ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ

1. Μειωμένη ροή αίματος προς τα περιφερικά αγγεία (αγγειοπάθεια)
2. Σοβαρή αναιμία
3. Ψυχρά άκρα ή εφίδρωση της περιοχής όπου συνδέεται ο αισθητήρας
4. Κίνηση της περιοχής όπου συνδέεται ο αισθητήρας
5. Πρόσφατη χορήγηση σκιαστικού
6. Κάπνισμα-ανθρακυλαίμοσφαιρίνη
7. Σκούρα βερνίκια νυχιών και ονυχομυκητιάσεις

## 3. ΑΕΡΙΑ ΑΙΜΑΤΟΣ

### Εισαγωγή

Η ανάλυση των αερίων αίματος παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την κατάσταση της οξυγόνωσης του οργανισμού καθώς και για τον έλεγχο ισορροπίας των υγρών και των ηλεκτρολυτών.

Είναι μία ειδική εξέταση που γίνεται στο αίμα (συνήθως αρτηριακό) και παρέχει πληροφορίες για (4) σημαντικές μεταβλητές.

### 3α. PaO<sub>2</sub>

Μερική πίεση οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της οξυγόνωσης. Ο SaO<sub>2</sub> αντιπροσωπεύει τον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης (Hb) με O<sub>2</sub> και παρέχει ένα μόνο μέτρο της οξυγόνωσης του αρτηριακού αίματος.

### 3β. PaCO<sub>2</sub>

Μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του αερισμού και του αναπνευστικού σκέλους της οξεοβασικής ισορροπίας (OBI).

### 3γ. pH

Παρέχει μια συνολική εκτίμηση της οξεοβασικής ισορροπίας και χρησιμοποιείται για την συνολική εκτίμηση της κατάστασης των ιόντων υδρογόνου (H<sup>+</sup>) στο πλάσμα. Επειδή η συγκέντρωση πρωτονίων (H<sup>+</sup>) σε οποιοδήποτε διάλυμα είναι εξαιρετικά μικρή περίπου 40 nmol/L στον ορό του αίματος, γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται η έννοια του pH (potentia Hydrogenii). Είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου δηλαδή  $[H^+] = 10^{-pH}$ ,  $pH = -\log_{10}[H^+]$ .

Το pH είναι 7,40 με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 7,38 και 7,42. Μείωση της τιμής του pH σημαίνει αύξηση της

συγκέντρωσης πρωτονίων στο αίμα και ονομάζεται **Οξυ-ναμία**, ενώ αύξηση της τιμής του pH σημαίνει μείωση της συγκέντρωσης και ονομάζεται **Αλκαλαμία**. Οι αντίστοιχες διαταραχές της οξεοβασικής ισορροπίας ονομάζονται **Οξέωση** και **Αλκάλωση**.

### 3δ. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Τα διττανθρακικά αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό ρυθμιστικό σύστημα του αίματος και χρησιμεύουν στην εκτίμηση του μεταβολικού σκέλους της οξεοβασικής ισορροπίας. Υπολογίζονται από την εξίσωση Henderson-Hasselbach:  $pH = pK + \log \frac{HCO_3^-}{H_2CO_3}$ , όπου pK για το αίμα μια σταθερά που ισούται με 6,10 σε θερμοκρασία 37°C ή  $pH = \text{μεταβολικός παράγοντας (νεφρός)} / \text{αναπνευστικός παράγοντας (πνεύμονας)}$ .

Η εξέταση των παραπάνω παραμέτρων συμβάλλει στη διάγνωση των διαταραχών της αναπνευστικής λειτουργίας και της οξεοβασικής ισορροπίας.

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΑΙΜΑΤΟΣ

### 1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub>

Η ανάλυση των αερίων αρτηριακού αίματος αποτελεί βασική εξέταση με την οποία ο κλινικός ιατρός προσδιορίζει:

- Την οξεοβασική κατάσταση ενός ασθενούς.
- Την οξυγόνωση του οργανισμού και τις νοσηρές καταστάσεις που σχετίζονται με τυχόν παθολογικές τιμές.
- Δίνει την δυνατότητα να εκτιμήσει κανείς καλύτερα τη θεραπευτική αγωγή του ασθενούς.

Η ερμηνεία των αερίων του αρτηριακού αίματος θα πρέπει να αποτελεί βασική γνώση όχι μόνο για τον πνευμονολόγο και αναισθησιολόγο αλλά για κάθε κλινικό ιατρό.

Σε αναπνευστική ανεπάρκεια έχουμε ελάττωση του PaO<sub>2</sub> κάτω από 60mmHg, του PaCO<sub>2</sub> πάνω από 45mmHg ή και τα δύο, για άρρωστο που αναπνέει ατμοσφαιρικό αέρα FiO<sub>2</sub> (0,21) στο επίπεδο της θάλασσας (P=1atm).

Διακρίνεται σε αναπνευστική ανεπάρκεια τύπου I ή υποξαιμικού τύπου (ελάττωση μόνο του PaO<sub>2</sub>) και αναπνευστική ανεπάρκεια τύπου II ή υπερκαπνικού τύπου (ελάττωση του PaO<sub>2</sub> και αύξηση του PaCO<sub>2</sub>).

### 2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ pH

Σε κάθε περίπτωση απλής διαταραχής της OBI διακρίνονται:

- Η πρωτοπαθής διαταραχή, που αφορά τη μεταβολή του PaCO<sub>2</sub> (αναπνευστικές διαταραχές) ή των HCO<sub>3</sub> (μεταβολικές διαταραχές). Η διαταραχή αυτή τείνει να εκτρέψει το pH από τη φυσιολογική τιμή.
- Η αντιρρόπηση, δηλαδή η κινητοποίηση μηχανισμών που αντιτίθενται στην εκτροπή του pH. Το pH μπορεί

να είναι φυσιολογικό (7,35-7,45), αυξημένο (αλκαλαιμία >7,45) ή μειωμένο (οξυαιμία <7,35).

Η οξυαιμία οφείλεται πάντα σε μία οξέωση και η αλκαλαιμία σε μία αλκάλωση.

Μία οξέωση μπορεί να είναι μεταβολική ή αναπνευστική. Εάν τα  $\text{HCO}_3^-$  είναι χαμηλά πρόκειται για μεταβολική οξέωση, ενώ εάν η  $\text{PaCO}_2$  είναι υψηλή πρόκειται για αναπνευστική οξέωση.

Μια αλκάλωση μπορεί να είναι μεταβολική ή αναπνευστική.

Εάν τα  $\text{HCO}_3^-$  είναι υψηλά πρόκειται για μεταβολική αλκάλωση, ενώ εάν η  $\text{PaCO}_2$  είναι χαμηλή πρόκειται για αναπνευστική αλκάλωση.

Μεταβολική οξέωση μπορεί να οφείλεται σε προσθήκη ενός ισχυρού οξέος στον εξωκυττάριο χώρο, εξωγενώς ή ενδογενώς από τον μεταβολισμό ή σε απώλεια βάσεων ( $\text{HCO}_3^-$ ) από το έντερο και τους νεφρούς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο ασθενής με Χρόνια Νεφρική Ανεπάρκεια και διαβητική κετοοξέωση. Συνεπώς, η ποσότητα των  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$  γίνεται <20/1 και το pH<7,35.

Αντιρροπιστικά θα αυξηθεί ο αερισμός από τη διέγερση του αναπνευστικού κέντρου για να αποβληθεί περισσότερο  $\text{CO}_2$ , η  $\text{PaCO}_2$  θα μειωθεί και η σχέση  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$  θα επανέλθει στο φυσιολογικό 20/1 (απαιτούνται 6+2 ώρες για να ολοκληρωθεί).

Μεταβολική αλκάλωση, μπορεί να οφείλεται σε απώλεια οξέων (λόγων εμετών ή ρινογαστρικής αναρρόφησης) ή σε προσθήκη  $\text{HCO}_3^-$ , (π.χ. στην καρδιοαναπνευστική αναζωογόνηση).

Συνεπώς τα  $\text{HCO}_3^-$  αυξάνουν, η σχέση  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$  γίνεται >20/1 και pH>7,44.

Η αντιρρόπηση θα γίνει από το αναπνευστικό σύστημα με μείωση του αερισμού και κατακράτηση  $\text{CO}_2$  οπότε η σχέση  $\text{HCO}_3^-$  τείνει να επανέλθει στο 20/1. Στην περίπτω-

ση αυτή πλήρης αντιρρόπηση δεν επιτυγχάνεται σχεδόν ποτέ.

Αναπνευστική οξέωση είναι μια παθολογική κατάσταση κατά την οποία ο κυψελιδικός αερισμός υπολείπεται της παραγωγής  $\text{CO}_2$  με αποτέλεσμα υπερκαπνία, δηλαδή αύξηση  $\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mmHg}$ .

Η σχέση  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$  γίνεται 20/1 και το pH<7,35. Παρατηρείται σε ασθενούς με Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια ή σε υποαερισμό κεντρικής αιτιολογίας.

Η αντιρρόπηση θα γίνει από τους νεφρούς που θα αυξήσουν την αποβολή  $\text{H}^+$  και την επαναρρόφηση των  $\text{HCO}_3^-$  με αποτέλεσμα επάνοδο της σχέσης  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$  στο 20/1 και του pH στο φυσιολογικό.

Η αντιρρόπηση αυτή αρχίζει αμέσως αλλά χρειάζεται μερικές ημέρες για να φθάσει στη μέγιστη απόδοση.

Αναπνευστική αλκάλωση είναι μία παθολογική κατάσταση κατά την οποία ο κυψελιδικός αερισμός αυξάνεται υπερβολικά σε σχέση με την παραγωγή  $\text{CO}_2$ , με αποτέλεσμα υποκαπνία δηλαδή  $\text{PaCO}_2 < 35 \text{ mmHg}$ . Η σχέση  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$  γίνεται >20/1 και το pH>7,45

Αντιρροπιστικά ο νεφρός θα αποβάλλει περισσότερα  $\text{HCO}_3^-$  με στόχο την επαναφορά της σχέσης  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$  στο 20/1 και του pH στα φυσιολογικά όρια.

#### Μικτή διαταραχή

Σε περίπτωση χαμηλών  $\text{HCO}_3^-$  και υψηλής  $\text{PaCO}_2$  ταυτόχρονα πρόκειται για μεταβολική και αναπνευστική οξέωση ενώ σε περίπτωση υψηλών  $\text{HCO}_3^-$  και χαμηλής  $\text{PaCO}_2$  πρόκειται για μεταβολική και αναπνευστική αλκάλωση.

Η εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων του αναπνευστικού συστήματος, η συνεχής παρακολούθηση της καπνογραφίας, της παλμικής οξυμετρίας και η σωστή αξιολόγηση των αερίων αίματος έχουν βελτιώσει την έκβαση των ασθενών που βρίσκονται υπό μηχανικό αερισμό.

## ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βασιλάκος Δ: Αναισθησιολογία και Εντατική Θεραπεία, εκδόσεις ΡΟΤΟΝΤΑ, Θεσσαλονίκη 2012.
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. Stenqvist O. Practical assessment of respiratory mechanics. Br J Anaesth 2003; 91:92.
4. 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.
5. Tobin MJ. Advances in mechanical ventilation. N Engl J Med 2001; 344:1986
6. American Society of Anesthesiologists. Basic Standards for Preanesthesia Care 1999. American Society of Anesthesiologists: Standards for basic anesthetic monitoring. <http://www.asahq.org/publicationsAndServices/standards/32.html> (Accessed on April 16, 2006).
7. Rose BD, Post TW. Clinical Physiology of Acid-Base and Electrolyte Disorders, 5th ed, McGraw-Hill, New York 2001. p.328.
8. Nagelhout J, Plaus K: Nurse Anesthesia fifth edition, Elsevier, 2014.