

# Άλλα Αέρια

ΕΥΛΟΞΙΑ ΚΙΤΣΙΟΠΟΥΛΟΥ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι εισπνεόμενοι παράγοντες χρησιμοποιήθηκαν πρώτη φορά για την επίτευξη χειρουργικής αναισθησίας το 1842 στις Η.Π.Α. Από τότε έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι χημικοί παράγοντες με στόχο την αναισθησία. Το monitoring των πτητικών παραγόντων και του  $N_2O$  αποτελεί πολύ χρήσιμο εργαλείο και απαραίτητο βοήθημα για τον αναισθησιολόγο, ενώ παράλληλα αποτελεί προϋπόθεση για την ασφάλεια του προσωπικού του χειρουργείου. Οι αρχές λειτουργίας των διαφόρων μεθόδων monitoring των εισπνεόμενων αερίων είναι πολλές και ποικίλες και ανάλογες με τις μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητες των αερίων. Το monitoring των πτητικών παρέχει στον αναισθησιολόγο πληροφορίες που είναι απαραίτητες για το βέλτιστο έλεγχο της αναισθησίας, έτσι ώστε αυτός να μπορεί να αξιολογεί με ασφάλεια και ακρίβεια την αναισθησία. Με γνώμονα τα δεδομένα του monitoring, ο αναισθησιολόγος μπορεί να προβεί στις ανάλογες διορθωτικές παρεμβάσεις, με στόχο τη βελτίωση του επιπέδου της παρεχόμενης αναισθησίας. Εξάλλου, η παρακολούθηση της συγκέντρωσης των εισπνεόμενων αναισθητικών θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική και για την προφύλαξη της υγείας και την ασφάλεια των ίδιων των αναισθησιολόγων, των χειρουργών και του νοσηλευτικού προσωπικού του χειρουργείου, καθώς και όλων όσων εργάζονται στον ευρύτερο χώρο χορήγησης αερίων. Μάλιστα, παρόλο που το monitoring των πτητικών δεν έχει ενταχθεί στο βασικό monitoring σύμφωνα με τις ελάχιστες προδιαγραφές χορήγησης ασφαλούς αναισθησίας, η εφαρμογή του κρίνεται απαραίτητη στην καθημερινή κλινική πρακτική.

**Λέξεις Κλειδιά:** monitoring της συγκέντρωσης αναισθητικών αερίων, monitoring του  $N_2O$ , monitoring εισπνεόμενων αναισθητικών παραγόντων

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέτρηση της συγκέντρωσης των εισπνεόμενων αναισθητικών αερίων παρόλο που δεν έχει ενταχθεί στο βασικό monitoring σύμφωνα με τις ελάχιστες προδιαγραφές χορήγησης ασφαλούς αναισθησίας, θεωρείται δεδομένη στη σύγχρονη αναισθησία<sup>1</sup>. Σε μερικές χώρες μάλιστα αποτελεί κριτήριο του επιπέδου της παρεχόμενης φροντίδας<sup>2</sup>. Κατάλληλο monitoring οδηγεί σε ανίχνευση του προβλήματος και δίνει τη δυνατότητα έγκαιρης παρέμβασης.

Το monitoring των εισπνεόμενων αναισθητικών

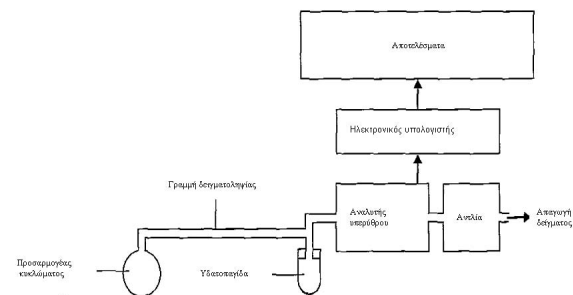
παραγόντων και του  $N_2O$  μας ειδοποιεί για τα περισσότερα προβλήματα που αφορούν τη χορήγηση τη σύσταση και τη δοσολογία τους. Χαμηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε κλειστούς εξατμιστήρες ή εξάντληση του περιεχομένου τους και μπορεί να οδηγήσουν σε αφύπνιση του ασθενούς. Υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οφείλονται σε δυσλειτουργία των εξατμιστήρων ή παρουσία υγρού στο σύστημα. Ορισμένοι αναλυτές έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύσουν μίγματα παραγόντων (επιμόλυνση εξατμιστήρων, περισσότεροι από ένας εξατμιστήρες σε λειτουργία). Το monitoring

του N<sub>2</sub> χρησιμεύει στην ανίχνευση κάποιας διαφυγής στο αναπνευστικό κύκλωμα<sup>3</sup>. Συγκεκριμένα τρεις είναι οι κύριες εφαρμογές της ανάλυσης των αερίων και των πτητικών στην καθημερινή αναισθησιολογική πρακτική:

1. Να εξακριβώσει την ταυτότητα και την συγκέντρωση των αερίων και των πτητικών τα οποία χορηγούνται στον ασθενή
2. Να εντοπίσει την ατμοσφαιρική ρύπανση
3. Να εκτιμήσει την μεταβολική ή την καρδιοαναπνευστική λειτουργία είτε αναλύοντας τα εισπνεόμενα αέρια (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> και N<sub>2</sub>) είτε με τη χρήση δεικτών αδρανών αερίων όπως το ήλιο το μονοξείδιο του άνθρακα ή το αργό<sup>4</sup>.

Οι εισπνεόμενοι αναισθητικοί παράγοντες, το N<sub>2</sub>O και το N<sub>2</sub> μετρώνται με **αναλυτές παράκαμψης** (sidestream)<sup>5</sup> (εικ. 1). Τα monitors παράκαμψης είναι πιο διαδεδομένα από αυτά του κυρίου ρεύματος (mainstream) γιατί ενσωματώνουν απλούστερες τεχνικές εφαρμογές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση των περισσότερων αερίων<sup>6</sup>. Σ' αυτούς ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος μακριά από το αναπνευστικό κύκλωμα, και έτσι αυτοί αντλούν με αναρρόφηση μια μικρή ποσότητα αερίου έξω από το κύκλωμα ώστε αυτό να εξετασθεί. Αυτό περιλαμβάνει κάποια καθυστέρηση η οποία μπορεί να ελαττωθεί εάν ελαττωθεί το μήκος του σωλήνα δειγματοληψίας. Εξαιτίας της διάταξης αυτής είναι δυνατό να αποφραχθεί ο σωλήνας δειγματοληψίας από υδρατμούς και εκκρίσεις<sup>7</sup>. Για την αποφυγή απόφραξης χρησιμοποιούνται φίλτρα και υδατοπαγίδες. Οι αναλυτές αυτοί μπορούν να ανιχνεύσουν ταυτόχρονα πολλούς παράγοντες<sup>8</sup>. Ο ρυθμός ροής δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος των 150ml/min διότι ο χρόνος διέλευσης σήματος και ο χρόνος απόκρισης του αναλυτή είναι αντιστρόφως ανάλογα του ρυθμού ροής (Ο χρόνος απόκρισης είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αντιδράσει ο αναλυτής στην αλλαγή της συγκέντρωσης του αερίου) αλλά ούτε και πολύ μεγάλος διότι μπορεί μέρος των φρέσκων αερίων να εισέλθει στο σωλήνα δειγματοληψίας και να έχουμε ψευδώς χαμηλές τιμές της συγκέντρωσης του μετρούμενου αερίου. Η ακρίβεια της μέτρησης ελαττώνεται με την αύξηση της αναπνευ-

στικής συχνότητας και της σχέσης I:E<sup>9,10</sup>. Το δείγμα του αερίου μετά τη μέτρηση προωθείται προς το σύστημα απαγωγής ή μπορεί να επιστρέφει στο κύκλωμα (όταν απαιτούνται χαμηλές ροές). Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται σύστημα απαγωγής υπάρχει ανάγκη αύξησης της ροής των φρέσκων αερίων ώστε να εξισορροπηθεί η αφαίρεση του αερίου και η αρνητική πίεση που δημιουργείται στο αναπνευστικό κύκλωμα. Οι αναλυτές αυτοί μηδενίζονται χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικό αέρα ή αυτόματα και βαθμονομούνται με τη βοήθεια ενός πρότυπου αερίου γνωστής σύστασης. Είναι ελαφριοί και φθηνοί. Παρέχουν τη δυνατότητα προσαρμογής μιας διάταξης η οποία επιτρέπει, αυξάνοντας ελάχιστα το μέγεθος του monitor, την μέτρηση της πίεσης, της ροής, του όγκου και τη σύνθεση των αερίων στους αεραγωγούς<sup>3</sup>. Η θέση της δειγματοληψίας ποικίλει και εξαρτάται από την αναισθητική τεχνική που χρησιμοποιείται. Τα δεδομένα δίνονται σε συγκέντρωση (% volumes) ή σε μερική πίεση (mmHg ή kPa: 1 mmHg = 0,133 kPa)<sup>8</sup>.



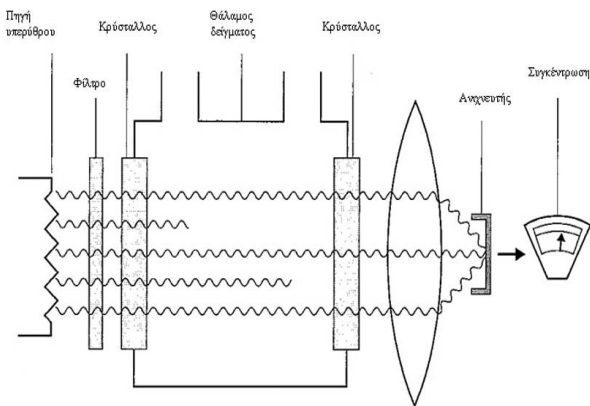
Εικόνα 1. Αναλυτής παράκαμψης

## ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΑΛΥΤΩΝ ΑΝΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ -ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### Υπέρυθρη φασματομετρία

Οι εισπνεόμενοι αναισθητικοί παράγοντες και το N<sub>2</sub>O συνήθως μετρώνται χρησιμοποιώντας αναλυτές απορρόφησης υπέρυθρου<sup>4</sup> (εικ. 2). Αυτοί διακρίνονται στους οπτικούς (μονοχρωματικοί και πολυχρωματικοί) και στους φωτοακουστικούς αναλυτές. Η υπέρυθρη φασματομετρία επιτρέπει την αναγνώριση μιας άγνωστης ένωσης και την διεξαγωγή ποσοτικής μέτρησης της συγκέντρωσής της. Η υπέρυθρη ακτινοβολία (1-15μm) απορροφάται από όλα τα αέρια με δύο ή περισσότερα δια-

φορετικά άτομα στο μόριό τους όπως το  $N_2O$ , το  $CO_2$  και οι αλογονομένοι παράγοντες (αέρια των οποίων το μόριο δεν περιέχει διαφορετικά άτομα, όπως το  $N_2$  δεν μπορούν να μετρηθούν με την

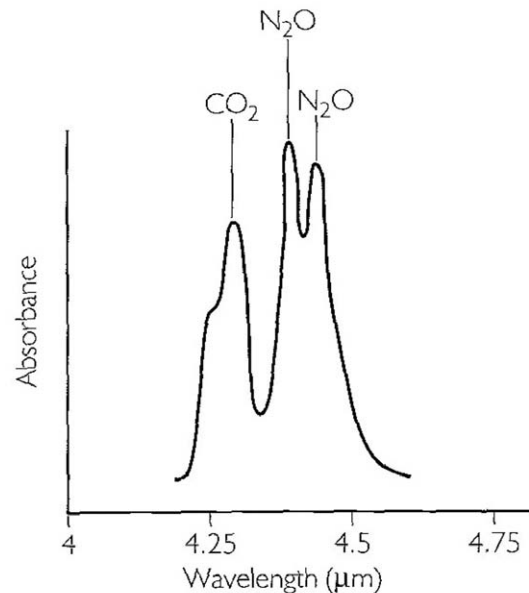


**Εικόνα 2.** Αναλυτής απορρόφησης υπέρυθρου

τεχνολογία αυτή).

Κάθε αέριο του οποίου το μόριο αποτελείται από διαφορετικά άτομα απορροφά φως σε διαφορετικό μήκος κύματος<sup>10</sup> (εικ. 3). Το προς έλεγχο αέριο περνά διαμέσου μιας κοιλότητας στην μια πλευρά της οποίας υπάρχει μια πηγή φωτός. Όταν υπέρυθρη ακτινοβολία συναντά ένα μόριο, παρατηρείται, για ορισμένα μήκη κύματος, εκλεκτική απορρόφηση της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στις χαρακτηριστικές συχνότητες ταλάντωσης των διαφόρων χημικών δεσμών. Σύμφωνα με τους νόμους των Beer και Lambert το ποσό του φωτός που απορροφάται είναι ανάλογο της μερικής πίεσης του αερίου<sup>10</sup>. Οι μονοχρωματικοί αναλυτές χρησιμοποιούν ένα μήκος κύματος και δεν έχουν τη δυνατότητα να διακρίνουν ποιος παράγοντας ανιχνεύεται ούτε να ανιχνεύσουν μίγματα παραγόντων. Η λάθος επιλογή του παράγοντα μπορεί να αποβεί μοιραία για τον ασθενή. Οι πολυχρωματικοί είναι οι πιο ασφαλείς διότι χρησιμοποιούν πολλαπλές πηγές φωτός διαφορετικού μήκους κύματος ώστε να ξεπερνιέται το πρόβλημα της αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφορετικών μορίων και τα αέρια να μπορούν να ανιχνεύονται με μεγαλύτερη ακρίβεια ενώ οι φωτοακουστικοί αναλυτές είναι οι πιο ακριβείς<sup>11</sup>. Οι αναλυτές απορρόφησης υπέρυθρου είναι φορητές συσκευές εύκολες στη χρήση, έχουν μικρό χρόνο απόκρισης, μικρό

χρόνο προθέρμανσης, δεν απαιτούν σύστημα απαγωγής και η παρουσία του πρωτοξειδίου ή του αργού δεν επηρεάζει τις μετρήσεις. Οι νέες γενιές αναλυτές χρησιμοποιούν ειδικά φωτοκύτταρα για την ανίχνευση και τη μετατροπή της υπέρυθρης ακτινοβολίας σε συνεχές ηλεκτρικό σήμα στην έξοδο<sup>4</sup>. Ωστόσο η παρουσία μεγάλης ποσότητας μη αναμενόμενων πτητικών όπως για παράδειγμα η αιθανόλη από έναν ασθενή μπορεί να εισάγει λάθη. Οι μετρήσεις επηρεάζονται επίσης από υδρατμούς και ραδιοσυχνότητες.



**Εικόνα 3.** Η απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από το  $CO_2$  και το  $N_2O$  εξαρτάται από το μήκος κύματος

Εκτός από την μέθοδο απορρόφησης υπέρυθρου για τη μέτρηση της συγκέντρωσης των αναισθητικών παραγόντων μερικές φορές χρησιμοποιούνται και άλλες μέθοδοι όταν πρόκειται για βαθμονόμηση ή για σύνθετη ανάλυση (Πίνακας 1)<sup>4</sup>.

### Φασματομετρία μάζας

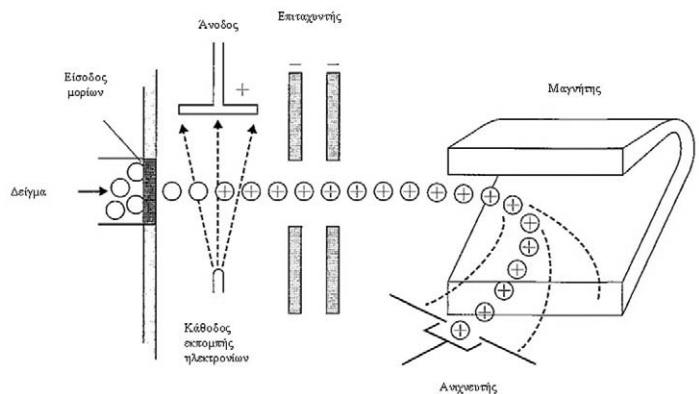
Τα φασματομέτρα μάζας μπορούν να διαχωρίσουν τα συστατικά ενός σύνθετου μίγματος αερίων ανάλογα με τη μάζα και το φορτίο εκπέμποντας τα φορτισμένα ιόντα σε ένα μαγνητικό πεδίο (εικ. 4). Δείγμα αερίου εισάγεται μέσα σε ένα κενό όπου βομβαρδίζεται με υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα να ιονιστεί. Τα

Πίνακας 1. Τεχνικές ανάλυσης αναισθητικών παραγόντων			
Τεχνικές	Αέρια τα οποία ανιχνεύονται		
	N <sub>2</sub> O	Πτητικά	N <sub>2</sub>
Οπτική υπέρυθη ανάλυση	•	•	
Φωτοακουστική υπέρυθη ανάλυση	•	•	
Φασματομετρία μάζας	•	•	•
Χρωματογραφία	•	•	•
Φασματομετρία Raman	•	•	•
Διαθλασιμετρία		•	
Πιεζοηλεκτρική ανάλυση		•	

θετικά φορτισμένα ιόντα τα οποία προκύπτουν επιταχύνονται με τη βοήθεια μιας λυχνίας ανόδου μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα να εκτρέπονται από την πορεία τους. Η εκτροπή αυτή είναι χαρακτηριστική για κάθε αέριο και εξαρτάται από το λόγο της μάζας προς το φορτίο του μορίου<sup>4</sup>. Οι αναλυτές αυτοί είναι εξαιρετικά ακριβείς και έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένου του N<sub>2</sub> καθώς και μίγματα αερίων, έχουν πολύ μικρό χρόνο απόκρισης, είναι εύκολες στη χρήση, αξιόπιστες και μικρού κόστους<sup>12,13</sup>. Όμως για τη λειτουργία τους απαιτείται σύστημα απαγωγής του εξεταστέου δείγματος αερίου, έχουν μεγάλο χρόνο προθέρμανσης, είναι ογκώδεις και έχουν δυνατότητα μέτρησης μόνο προγραμματισμένων από πριν αερίων<sup>14,15</sup>.

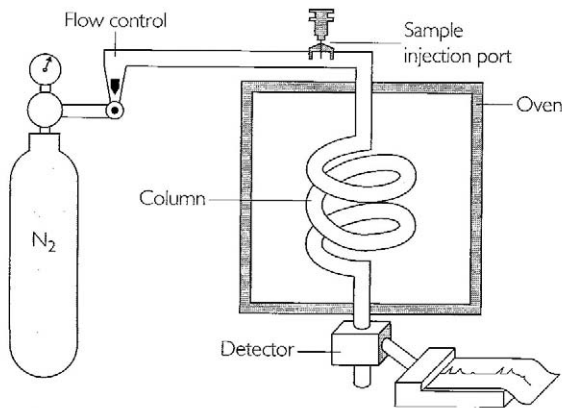
### Αέρια χρωματογραφία

Ένας χρωματογράφος αερίου αποτελείται από μια συμπιεσμένη στήλη από αδρανή στρώματα καλυμμένα με μια ελαιώδη μεμβράνη διαμέσου της οποίας περνά με σταθερή ροή ένα αδρανές αέριο. Στην έξοδο υπάρχει ένας ανιχνευτής (εικ. 5). Ευδιάλυτα αέρια τα οποία εισάγονται στο ένα άκρο τείνουν να διαλύονται στο έλαιο και να



Εικόνα 4. Αρχή λειτουργίας της φασματομετρίας μάζας

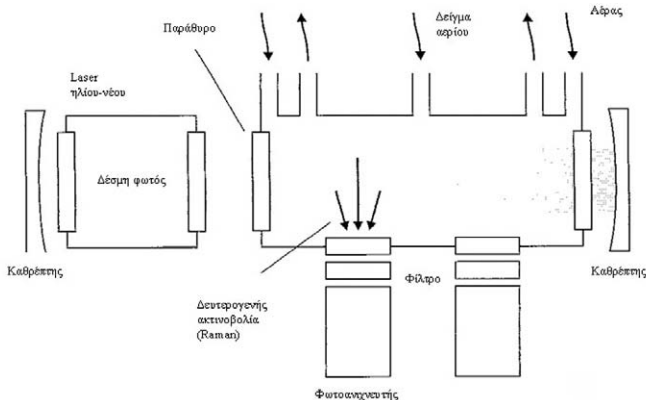
καθυστερούν να εμφανιστούν στην έξοδο της στήλης, ενώ αυτά που είναι αδιάλυτα μετακινούνται διαμέσου της στήλης γρήγορα. Ο χρόνος που απαιτείται για τη διόδο ενός αερίου διαμέσου της στήλης είναι χαρακτηριστικός για κάθε αέριο<sup>4</sup>. Η αέρια χρωματογραφία είναι επίσης χρήσιμη στη μέτρηση των πτητικών αναισθητικών παραγόντων στον ατμοσφαιρικό αέρα του χειρουργείου. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η δυνατότητα ανίχνευσης και μέτρησης ακόμη και πολύ μικρών ποσοτήτων κάποιου παράγοντα καθώς και η δυνατότητα ανίχνευσης των συστατικών ενός αγνώστου μίγματος<sup>10</sup>.



Εικόνα 5. Αέρια χρωματογραφία

### Φασματομετρία Raman

Όταν ένα υψηλής ισχύος laser περνά διαμέσου ενός δείγματος αερίου η πρόσπτωση της μονοχρωματικής ακτινοβολίας πάνω στα μόρια του αερίου προκαλεί σκέδαση του φωτός (εικ. 6). Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό σαν σκέδαση Raman<sup>16</sup>. Το μήκος κύματος της δευτερογενούς ακτινοβολίας είναι χαρακτηριστικό για κάθε αέριο. Τα φασματομέτρα Raman μπορούν να ανιχνεύσουν μίγματα αναισθητικών αερίων, έχουν μικρό χρόνο απόκρισης, μικρό χρόνο προθέρμανσης, είναι φορητές συσκευές εύκολες στη χρήση και στη συντήρηση και ακριβείς και δεν απαιτούν σύστημα απαγωγής, όμως το μέγεθος και η πολυπλοκότητα της τεχνικής αυτής έχουν περιορίσει τη χρήση της<sup>17,18</sup>. Μονοατομικά αέρια όπως το ήλιο, το ξένο και το αργό δεν προκαλούν σκέδαση Raman. Η παρουσία NO προκαλεί ψευδή ένδειξη παρουσίας N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O και ισοφλουρανίου<sup>19</sup>. Τέλος το κόστος αγοράς είναι σχετικά υψηλό.



Εικόνα 6. Αναλυτής φασματομετρίας Raman

### Διαθλασιμετρία

Αυτή η μέθοδος ανάλυσης χρησιμοποιείται για την ακριβή βαθμονόμηση ροομέτρων και εξατμιστήρων<sup>20</sup>. Φορητές συσκευές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της μόλυνσης του περιβάλλοντος του χειρουργείου από αναισθητικά αέρια. Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής στηρίζεται στο γεγονός ότι όταν ένα αέριο εισάγεται μέσα σε έναν αγωγό φωτός καθυστερεί τη μετάδοση των φωτεινών κυμάτων σε βαθμό που καθορίζεται από τον δείκτη διάθλασης της ουσίας<sup>21</sup>. Τα διαθλασίμετρα βαθμονομούνται χρησιμοποιώντας γνωστές συγκεντρώσεις αερίων ή πτητικών. Η παρουσία υδρατμών και πρωτοξειδίου επηρεάζει τις ενδείξεις του οργάνου.

### Πιεζοηλεκτρική ανάλυση

Η μέθοδος της πιεζοηλεκτρικής ανάλυσης είναι άλλη μια μέθοδος με την οποία είναι δυνατή η μέτρηση της συγκέντρωσης των πτητικών αναισθητικών παραγόντων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί δονούμενους κρυστάλλους καλυμμένους με λιπιδιακό περίβλημα. Όταν εκτίθενται σε κάποιον πτητικό παράγοντα αυτός απορροφάται από το περίβλημα μεταβάλλοντας την συχνότητα της ταλάντωσης. Με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού συστήματος παράγεται ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο είναι ανάλογο της συγκέντρωσης του πτητικού<sup>5</sup>. Είναι ακριβής μέθοδος, έχει μικρό χρόνο απόκρισης, μικρό χρόνο προθέρμανσης, δεν απαιτείται σύστημα απαγωγής και έχει μικρό μέγεθος<sup>22</sup>. Δεν έχει ευρεία εφαρμογή στην κλινική πράξη και αυτό οφείλεται στο ότι μπορεί να μετρά μόνο πτητικούς παράγοντες, δεν μπορεί να διακρίνει μεταξύ των παραγόντων και τα αποτελέσματα επηρεάζονται από την παρουσία υδρατμών και πρωτοξειδίου<sup>23,24</sup>.

### ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ MONITORING ΤΩΝ ΑΝΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

#### Εισπνεόμενοι αναισθητικοί παράγοντες

Οι εισπνεόμενοι αναισθητικοί παράγοντες συνήθως μετρώνται με αναλυτές απορρόφησης υπερύθρου είναι όμως δυνατό να μετρηθούν και με άλλες μεθόδους (φασματομετρία μάζας, φασματομετρία Raman, αέρια χρωματογραφία, διαθλασιμετρία ή πιεζοηλεκτρική ανάλυση)<sup>5</sup>. Ο

χρόνος απόκρισης για τους αναλυτές των πτητικών αερίων ποικίλει και εξαρτάται από το μέγεθος του μήκους ή της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα δειγματοληψίας και τη ροή του αερίου προς δειγματοληψία σ' αυτόν. Επίσης η ποιότητα κατασκευής της γραμμής δειγματοληψίας είναι σημαντική, ο συντελεστής κατανομής του υλικού κατασκευής της γραμμής που επιδρά με αλογόνα συσχετίζεται με το χρόνο απόκρισης του αναλυτή<sup>25</sup>. Οι αναλυτές των αναισθητικών αερίων επιτρέπουν την εκτίμηση του είδους και της συγκέντρωσης ενός πτητικού παράγοντα στην έξοδο του εξατμιστήρα. Έτσι αναλυτές οι οποίοι είναι ειδικοί για συγκεκριμένους πτητικούς παράγοντες, θα ανιχνεύσουν έναν λάθος παράγοντα, ενώ οι μη ειδικοί συνήθως εμφανίζουν μια ασυνήθη ένδειξη. Επίσης επιτρέπουν τον καθορισμό της συγκέντρωσης του πτητικού σε έναν εξατμιστήρα. Τέλος ειδοποιούν τον χρήστη όταν το πτητικό στον εξατμιστήρα έχει εξαντληθεί ή όταν αυτός είναι κλειστός. Μπορούν να ανιχνεύσουν έναν εξατμιστήρα ο οποίος λειτουργεί ακούσια ή ο οποίος αφήνει να διαφύγει σημαντική ποσότητα πτητικού στη ροή των φρέσκων αερίων. Παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την πρόληψη και την αποβολή του πτητικού. Η διαφορά της συγκέντρωσης του πτητικού στον εισπνεόμενο και εκπνεόμενο αέρα καθορίζουν το επίπεδο του κορεσμού του ασθενή<sup>26</sup>. Καθορίζουν την σχέση των επιπέδων του πτητικού στη γραμμή των φρέσκων αερίων και στο αναπνευστικό σύστημα, βοηθώντας με τον τρόπο αυτό στη χρησιμοποίηση συστημάτων ολικής επανεισπνοής με πολύ χαμηλές ροές φρέσκων αερίων. Η τελοεκπνευστική συγκέντρωση των πτητικών αναισθητικών σε έναν ασθενή στον οποίο έχει χορηγηθεί μνοχάλαση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα μέτρο του βάθους της αναισθησίας χωρίς βέβαια να υποκαθίστανται τα ειδικά monitors<sup>27</sup>.

### Πρωτοξείδιο

Το πρωτοξείδιο είναι δυνατό να μετρηθεί με την υπέρυθη ανάλυση, την φασματομετρία μάζας, την αέρια χρωματογραφία ή την φασματομετρία Raman<sup>5</sup>. Η μέτρηση του πρωτοξειδίου είναι χρήσιμη για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των ροομέτρων καθώς επίσης για τον έλεγχο της επιμόλυνσης του περιβάλλοντος του χειρουργείου<sup>4</sup>. Η

έκθεση σε πρωτοξείδιο πάνω από τα ασφαλή όρια έχει ενοχοποιηθεί για διάφορες βλάβες<sup>28</sup>. Στο τέλος μιας γενικής αναισθησίας με πρωτοξείδιο βοηθά στην επιβεβαίωση ότι το σύστημα είναι καθαρό από πρωτοξείδιο ώστε να αποφύγουμε την υποξία από διάχυση.

### Άζωτο

Το άζωτο είναι δυνατό να μετρηθεί με την φασματομετρία μάζας, την αέρια χρωματογραφία ή την φασματομετρία Raman. Διακοπτόμενο monitoring με φασματοφωτόμετρο μάζας είναι δυνατό να μην ανιχνεύσει μια ξαφνική αύξηση του αζώτου<sup>5</sup>. Μια σημαντική χρήση του monitoring αυτού είναι η επιβεβαίωση της επαρκούς προοξυγόνωσης πριν την εισαγωγή στην αναισθησία. Αυτό είναι σημαντικό όταν πρόκειται για παιδιατρικούς ασθενείς, ασθενείς με πνευμονοπάθειες και ασθενείς με ελαττωμένη υπολειπόμενη ζωτική χωρητικότητα (παχυσαρκία, εγκυμοσύνη) καθώς επίσης και στην περίπτωση της ταχείας εισαγωγής στην αναισθησία. Μια αύξηση στην τιμή του εκπνεόμενου αζώτου είναι ενδεικτική του ότι αέρας από κάποια πηγή έχει εισέλθει στην κυκλοφορία<sup>8</sup>. Κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων αυτό είναι αποτέλεσμα εισόδου αέρα από μια ανοιχτή φλέβα υπό τον όρο ότι από το αναπνευστικό σύστημα δεν μπορεί να εισέλθει αέρας. Σε συνδυασμό με monitoring τελοεκπνευστικού CO<sub>2</sub>, το monitoring του αζώτου μας παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για να διακρίνουμε την αερώδη εμβολή από την εμβολή από άλλη αιτία<sup>29</sup>. Φυσιολογικά κατά τη διάρκεια της γενικής αναισθησίας τα επίπεδα του αζώτου στο αναπνευστικό σύστημα αρχικά ελαττώνονται γρήγορα και στη συνέχεια με πιο αργό ρυθμό. Μια αργή πτώση ή μια αύξηση μπορεί να είναι αποτέλεσμα εισόδου αέρα από το περιβάλλον λόγω αποσύνδεσης, αναποτελεσματικής εφαρμογής της μάσκας, ξεφούσκωτου αεροθαλάμου του ενδοτραχειακού σωλήνα ή ασυnergίας του ασθενούς με τον αναπνευστήρα<sup>30</sup>. Μια διαφυγή στο σύστημα δειγματοληψίας έχει σαν αποτέλεσμα την ανίχνευση αζώτου. Για να αποκλείσουμε το ενδεχόμενο μιας τέτοιας διαφυγής χορηγούμε καθαρό O<sub>2</sub>, εάν το monitor συνεχίζει να ανιχνεύει άζωτο τότε υπάρχει διαφυγή. Κατά τη διάρκεια γενικής αναισθησίας με

χαμηλές ροές αερίων το άζωτο συσσωρεύεται στο αναπνευστικό σύστημα ακόμη και αν στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν υψηλές ροές. Έχουν αναφερθεί επίπεδα αζώτου έως 15%<sup>31</sup>. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των επιπέδων του O<sub>2</sub>, του πρωτοξειδίου και των πτητικών.

### Μονοξείδιο του άνθρακα

Για το μονοξείδιο του άνθρακα δεν υπάρχει διαθέσιμο monitoring<sup>5</sup>. Το CO σχηματίζεται από την αντίδραση του δεσφλουρανίου, του ενφλουρανίου και σε μικρότερο βαθμό του ισοφλουρανίου με τα

υλικά απορρόφησης του CO<sub>2</sub> και ιδιαίτερα με την baralyme<sup>32</sup>. Οι συνήθεις αναλυτές (υπέρουθρης ανάλυσης, φασματοφωτόμετρα μάζας, φασματοφωτόμετρα Raman) δεν ανιχνεύουν άμεσα την παραγωγή του CO όμως η ανίχνευση ανάμικτων παραγόντων κατά την αναισθησία με ισοφλουράνιο ή δεσφλουράνιο και μια μικρή αύξηση του αζώτου και του CO<sub>2</sub> είναι δυνατή με τη φασματομετρία μάζας<sup>33-35</sup>. Οι αναλυτές υπέρυθρου είναι λιγότερο αποτελεσματικοί και μπορεί να μην δώσουν καμία ένδειξη<sup>36</sup>.

## ABSTRACT

### Monitoring of Gas

#### Efdoxia Kitsiopoulos

Inhalation agents were first used in the USA for surgical anesthesia in the year 1842. Since then many chemical compounds have been introduced to anesthetize patients. Monitoring of volatile anesthetics and N<sub>2</sub>O is a very useful and helpful tool for the anesthesiologist. Moreover, it is considered as a standard procedure for the safety of the personnel working in the operating room. The monitoring devices have several function principles, which are based on the unique physic-chemical properties of the gases. Monitoring of the volatiles provides to the anesthesiologist information necessary for optimally controlling the anesthesia in a safe and accurate way. On the basis of the data derived from the monitoring, the anesthesiologist can improve the anesthesia. Furthermore, monitoring of the concentration of the inhalation agents is considered of great importance for the health protection and the safety of the anesthesiologists, surgeons and nurse personnel of the operating room and of everyone working around the administration of anesthetic gases. Indeed, despite the fact that monitoring of the volatiles is not included in the standard guidelines for safe anesthesia it is considered mandatory in the daily clinical practice.

**Key Words:** Monitoring of gas concentrations , monitoring of nitrous oxide, monitoring of volatile anesthetics

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Η εφημερίς της κυβερνήσεως της ελληνικής δημοκρατίας. Τεύχος δεύτερο, αρ. φύλλου 1044, 25 Νοεμβρίου 1997
2. Walder B, Lauber R, Zbinden AM. Accuracy and cross-sensitivity of 10 different anesthetic gas monitors. *Journal of Clinical Monitoring* 1993;9:364-373.
3. Eisenkraft J. Hazards of Anesthesia gas delivery systems. *Can J Anesth* 2004 / 51: 6 / ppR1-R6.
4. Aitkenhead AR, Smith G, Rowbotham D. *Textbook of Anaesthesia*, 5th ed, Churchill Livingstone, 2007.
5. Dorsce JA, Dorsce SE. *Understanding Anesthesia Equipment*, 4th ed, Williams and Wilkins, Baltimore, 1999
6. Μπαλαμούτσος ΝΓ, Στοιχεία Περιεγχειρητικής Ιατρικής, 1th ed, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2002
7. Paulsen AW. Factors influencing the relatively accuracy of long-line-time-shared mass spec-

- trometry. *Biomed Instrum Technol* 1989;23:476-480.
8. Hugh C Hemmings JR, Philip M Hopkkins. Monitoring of gas concentrations. *Foundations of Anesthesia*. 2006.
  9. Scamman FL. Accuracy of a central mass spectrometer system at high respiratory frequencies. *Journal of Clinical Monitoring* 1988;4:227-229.
  10. Davis PD, Kenny GN. Basic physics and measurement in anaesthesia, 5th ed, Butterworth Heinemann, 2003
  11. Walder B, Lauber R, Zbinden AM. Accuracy and cross-sensitivity of 10 different anesthetic gas monitors. *J Clin Monit* 1993 Nov;9(5):364-73.
  12. Munshi C, Dhamee S, Bardeen-Henschel A, et al. Recognition of mixed anesthetic agents by mass spectrometer during anaesthesia. *Journal of Clinical Monitoring* 1986;2:121-124.
  13. Frazier WT, Odom SH. Efficiency and expense of time-shared mass spectrometer systems. *Biomed Instrum Technol* 1989;23:481-484.
  14. McCleary U. Potential effects of an unknown gas on mass spectrometer readings. *Anesthesiology* 1985;63:724-725.
  15. Abel M, Eizenkraft JB. Erroneous mass spectrometer readings caused by desflurane and sevoflurane. *Journal of clinical monitoring* 1995;11:152-158.
  16. Ilesley AH, Lillie PE. In - circuit analyzers. *Anaesthesia and Intensive Care* 1994;22:415-418.
  17. Westenskow DR, Smith KW, Coleman DL, et al. Clinical evaluation of a Raman scattering multiple gas analyzer for the operating room. *Anesthesiology* 1989;70:350-355.
  18. Lawson D, Samanta S, Magee PT, et al. Stability and long-term durability of Raman spectroscopy. *Journal of clinical monitoring* 1993;9:241-251.
  19. Firestone L, Mitchell J, Carrera J, et al. Nitric oxide - induced measurement artifacts with the Rascal I gas monitor. *Anesth Analg* 1994;78:S111.
  20. Wallroth CF, Gippert KL, Ryschka M et al. Refractive indices for volatile anesthetic gases: equipment and method for calibrating vaporizers and monitors. *Journal of clinical monitoring* 1995;11:168-174.
  21. Allison JM, Gregory RS, Birch KP, et al. Determination of anaesthetic agent concentration by refractometry. *Br. J Anaesth* 1995;74:85-88
  22. Westenskow DR, Silva FH. Laboratory evaluation of the vital signs piezoelectric anesthetic agent analyzer. *Journal of clinical monitoring* 1991;7:189-194.
  23. Schulte GT, Block FE. What really happens when the wrong agent is poured into a vaporizer? *Anesthesiology* 1991;75:S420.)
  24. Pollock CH. Reliability of monitoring. *Anaesthesia* 1996;51:612.
  25. Frei FJ, Zbinden AM, Wecker H, et al. Parameters influencing the response time of volatile anesthetics monitors. *Int Journal Clin Monitor Comput* 1989;6:21-30
  26. Jameson LC. Are end-tidal anesthetic concentrations clinically useful? (ASA Reference Course 422). New Orleans: ASA 1988
  27. Osborne GA, Webb RK, Runciman Wb, et al. The Australian incident monitoring study. Patient awareness during anaesthesia: an analysis of 2000 incident report. *Anaesthesia and Intensive Care* 1993;21:653.
  28. Henderson KA, Matthews IP. Environmental monitoring of nitrous oxide during dental anaesthesia. *BDJ* 2000;188: NO11.
  29. Russel GB, Greybeal JM. The sensitivity of Raman spectrometry for detection of air embolism in dogs. *Anesth Analg* 1994;78:S372.
  30. Martin M, Zupan J. Unusual end-tidal CO2 wave-form. *Anesthesiology* 1987;66:712-713.
  31. Barton F, Nunn JF. Totally closed circuit nitrous oxide/oxygen anaesthesia. *Br. J Anaesth* 1975;47:350-357.
  32. Eizenkraft J. Problems with anaesthesia gas delivery systems. Annual Meeting Refresher Course Lectures, 2004.
  33. Woehick HJ, Dunning III M, Gandhi S, et al. Indirect detection of intraoperative carbon monoxide exposure by mass spectrometry during isoflurane anaesthesia. *Anesthesiology* 1995;83:213-217.
  34. Woehick HJ, Dunning M, Nithipaticom K, et



- al. Mass spectrometry provides warning of carbon monoxide exposure via trifluoro methane. *Anesthesiology* 1996;84:1489-1493.
35. Breen PH. Detection of carbon monoxide with mass spectrometry during anesthesia. *Anesthesiology* 1995;83:1383.
36. Dunning III M, Woehick H, Nithipaticom K. Comparison of clinical gas monitorw to detect breakdown of isoflurane or desflurane to carbon monoxide. *Anesthesiology* 1995;83:A1079.