

14

Μηχάνημα αναισθησίας – Μηχανικός αερισμός στο χειρουργείο

Έλενα Αργυριάδου, Δέσποινα Σαρρίδου

Περιεχόμενα

▶ I. Μηχάνημα αναισθησίας	346
▶ Εισαγωγή	346
▶ Η ανατομία ενός μηχανήματος αναισθησίας – Μέρη και εξοπλισμός	347
▶ Έλεγχος μηχανήματος αναισθησίας	353
▶ Σύγχρονο μηχανήμα αναισθησίας	354
▶ Διανομή και αναπνευστικά κυκλώματα	354
▶ II. Αναπνευστήρας και μηχανικός αερισμός	356
▶ Αερισμοί ελεγχόμενου όγκου	357
▶ Αερισμοί ελεγχόμενης πίεσης	357
▶ Βιβλιογραφία	358
▶ Ερωτήσεις αυτοαξιολόγησης	359

Κύρια σημεία

- ▶ Ο βασικός διαχωρισμός των τύπων μηχανικού αερισμού γίνεται ανάλογα με την παράμετρο (πίεση ή όγκος) την οποία ρυθμίζουμε κατά την εισπνοή.
- ▶ Το SPDD αποτελεί ένα εύκολο μοντέλο παρουσίασης και οργάνωσης του μηχανήματος αναισθησίας και είναι αυτό που στηρίζεται στην παροχή (supply – S), επεξεργασία (processing – P), διανομής (delivery – D) και απομάκρυνσης (disposal – D).
- ▶ Η παροχή αερίων στηρίζεται σε συστήματα υψηλών ενδιάμεσων και χαμηλών πιέσεων.
- ▶ Τα σπιρόμετρα και μετρητές πίεσης, τα ροόμετρα, οι εξατμιστήρες, ο αναπνευστήρας, οι συσκευές απορρόφησης διοξειδίου και το σύστημα απαγωγής άχρηστων αερίων αποτελούν σημαντικά μέρη του αναισθησιολογικού μηχανήματος.
- ▶ Ο καθημερινός έλεγχος λειτουργίας του αναισθητικού μηχανήματος κρίνεται αναγκαίος για την ασφαλή παροχή αναισθησίας.
- ▶ Τα αναισθητικά κυκλώματα μεταφέρουν τα φρέσκα αέρια από το μηχανήμα αναισθησίας στον ασθενή και ταξινομούνται σε ανοικτά και κλειστά.
- ▶ Ο αναπνευστήρας είναι σε γενικές γραμμές μια γεννήτρια ροής που υποστηρίζει την αναπνευστική λειτουργία με την εφαρμογή θετικών πιέσεων στους πνεύμονες.

- ▶ Κατά τη διάρκεια του μηχανικού αερισμού θα πρέπει ο αναισθησιολόγος να παρακολουθεί σε όλους τους ασθενείς τουλάχιστον τις πιέσεις που αναπτύσσονται στους αεραγωγούς, τον εισπνεόμενο και τον εκπνεόμενο όγκο, την εισπνεόμενη συγκέντρωση οξυγόνου, καθώς και το εκπνεόμενο διοξείδιο του άνθρακα.

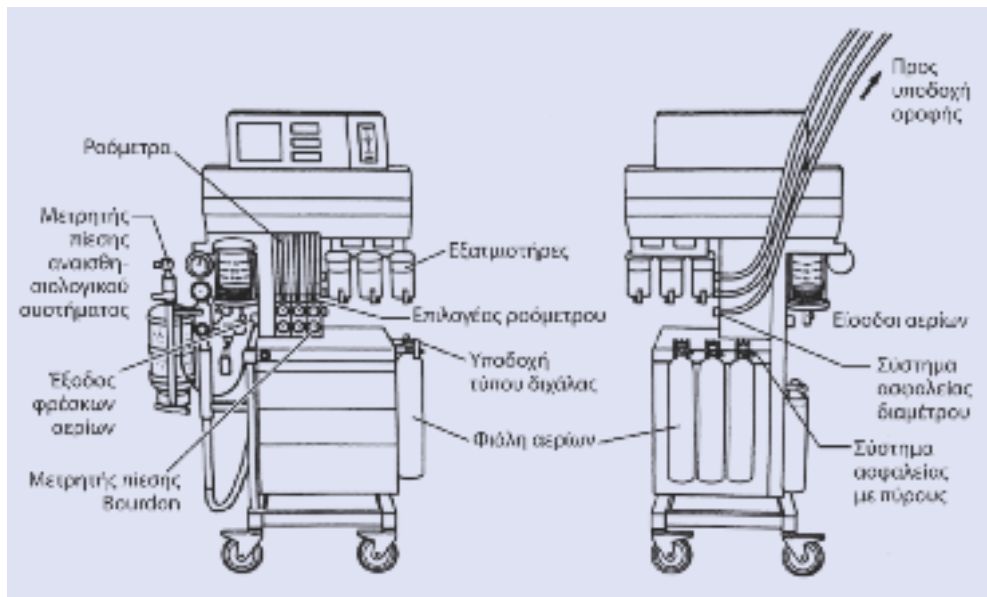
Ι. ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΑΝΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Εισαγωγή

Το μηχάνημα αναισθησίας αποτελεί βασικό αναισθησιολογικό εξοπλισμό στην καθημερινή πρακτική, αναγκαίο για τη χορήγηση γενικής αναισθησίας. Αποτελείται από ένα σύνολο επιμέρους προσαρτημένων συσκευών μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η ασφαλής χορήγηση αναισθησίας και η παροχή του μείγματος φρέσκων αερίων (οξυγόνου, αέρα, πτητικών αναισθητικών κτλ.), αλλά και η ανταλλαγή αερίων με την υποστήριξη της αναπνοής μέσω του μηχανικού αερισμού που εξασφαλίζει ο αναπνευστήρας. Παράλληλα, εκτός από την παροχή των παραπάνω

αερίων, επιτελούνται και άλλες λειτουργίες όπως η μέτρηση της συγκέντρωσης ή η απομάκρυνσή τους μέσω ειδικών συσκευών ή συνοδού εξοπλισμού. Ένα εύκολο στην κατανόηση μοντέλο παρουσίασης και οργάνωσης του μηχανήματος αναισθησίας είναι αυτό που στηρίζεται στην παροχή (supply – S), επεξεργασία (processing – P), διανομή (delivery – D) και απομάκρυνση (disposal – D), SPDD.

Είναι αυτονόητο ότι η ακριβής και εύρυθμη λειτουργία του μηχανήματος αναισθησίας είναι απαραίτητη για την τήρηση όλων των δικλείδων ασφαλείας αλλά και τον πλήρη έλεγχο στη χορήγηση αναισθησίας (Εικ. 14.1, 14.2).



Εικόνα 14.1. Μηχάνημα αναισθησίας.



Εικόνα 14.2. Μηχάνημα αναισθησίας.

Η ανατομία ενός μηχανήματος αναισθησίας – Μέρη και εξοπλισμός

Είσοδοι αερίων και βαλβίδες ρύθμισης πίεσης

Τα αέρια εισέρχονται στο μηχάνημα αναισθησίας από τις εισόδους αερίων είτε προερχόμενα από το σύστημα διανομής ιατρικών αερίων του νοσοκομείου (επιτοίχιο σύστημα), είτε από ειδικές φιάλες (κύλινδροι αερίων). Τα αέρια εισέρχονται στο μηχάνημα αναισθησίας υπό υψηλή πίεση και αυτή ρυθμίζεται μέσω ειδικού συστήματος προσαρμογής πίεσης με ρυθμιστές πίεσης. Το συνδετικό σύστημα προσαρμογής περιέχει πύρους συγκεκριμένης διαμέτρου, ροδέλα, φίλτρο και βαλβίδα που αποτρέπει παλινδρόμηση στη ροή του αερίου. Τα αέρια που προέρχονται από φιάλες ελέγχονται, όσον αφορά την πίεση, με **μετρητές πίεσης τύπου Bourdon**. Μετά ειδικού **ρυθμιστές πίεσης δύο σταδίων** μπορούν να μειώσουν περαιτέρω την πίεση μέσα στη φιάλη, εάν πρόκειται για παροχή από κύλινδρο.

Παράλληλα, το σύστημα διανομής συνδέεται με το μηχάνημα αναισθησίας με ένα σύστημα ασφαλείας που στηρίζεται στη διάμετρο των σωλήνων, το **σύστημα DISS (Diameter Index Safety System)**. Τα αέρια που προέρχονται από αυτό το σύστημα συνήθως δεν χρειάζονται περαιτέρω μείωση πίεσης (45-55 psig). Γενικά το μηχάνημα αναισθησίας δουλεύει με πιέσεις περί τα 50 psig, δηλαδή περίπου 3,5 atm.

Συναγερμοί πτώσης της πίεσης του οξυγόνου και βαλβίδα ταχείας χορήγησης οξυγόνου

Ενώ οι παροχές του υποξειδίου του αζώτου και του αέρα συνδέονται απευθείας με τα ροόμετρα, η παροχή του οξυγόνου συνδέεται πρώτα με συσκευές ανίχνευσης πτώσης της μερικής πίεσης του οξυγόνου, τη βαλβίδα ταχείας χορήγησης οξυγόνου και τον αναπνευστήρα. Εάν η πίεση πέσει κατά 50%, δηλαδή στα 25 psig (1,7 atm), τότε αυτόματα μία βαλβίδα κλείνει την παροχή αέρα ή υποξειδίου του αζώτου, ώστε να αποφευχθεί η χορήγηση υποξικού μίγματος αερίων στον ασθενή με δυσάρεστες συνέπειες που αυτό συνεπάγει. Ηχητικός ή ηλεκτρικός συναγερμός σηματοδοτούν μια τέτοια επικίνδυνη κατάσταση.

Η βαλβίδα ταχείας χορήγησης οξυγόνου παρέχει σε περίπτωση ανάγκης οξυγόνο σε υψηλή ροή από 35 L έως 75 L ανά λεπτό παρακάμπτοντας τα ροόμετρα και τον εξατμιστήρα.

Μια τέτοια ανάγκη μπορεί δυνητικά να παρουσιασθεί σε κατάσταση δύσκολου αερισμού με προσωπίδα και μάσκα κατά την εισαγωγή στην αναισθησία μετά την κατάργηση της αυτόματης αναπνοής. Σε κάθε περίπτωση η χρήση της βαλβίδας ταχείας χορήγησης οξυγόνου χρειάζεται προσοχή λόγω του κινδύνου βαροτραύματος από τις υ-

ψηλές πιέσεις που μπορεί να αναπτυχθούν (45-55 psi).

Παροχή αερίων: Συστήματα υψηλών ενδιάμεσων και χαμηλών πιέσεων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα ιατρικά αέρια μπορεί μεταφέρονται στο μηχάνημα αναισθησίας υπό διαφορετικές συνδέσεις. Για παράδειγμα, το οξυγόνο αποθηκεύεται σε υγροποιημένη μορφή μετά την κλασματοποίησή του από αέρα και μεταφέρεται υπό υψηλή πίεση στη χειρουργική αίθουσα μέσω κεντρικού συστήματος παροχής.

Οξυγόνο και αέρας αποθηκεύονται σε κυλίνδρους χωρητικότητας 625 L αερίου σε ακόμη υψηλότερες πιέσεις 2.200 psi. Ένας γεμάτος κύλινδρος υποξειδίου του αζώτου 1.590 L έχει πίεση 745 psi. Συγχρόνως, τα μανόμετρα του κεντρικού νοσοκομειακού συστήματος διανομής συνήθως καταγράφουν ενδιάμεσες πιέσεις γύρω στα 50-55 psi. Αντίθετα, φαινόμενο χαμηλής πίεσης αεραγωγών συναντάται φυσιολογικά κατά τον μηχανικό αερισμό, όπου σε έναν υγιή ενήλικα αναπτύσσεται πίεση 0,2-0,3 psi (Πίν. 14.1).

Ροόμετρα και βαλβίδες ελέγχου ροής

Οι βαλβίδες ελέγχου ροής και τα ροόμετρα ελέγχουν, ρυθμίζουν και μετρούν με ακρίβεια αντίστοιχα τη ροή των αερίων. Στα παλαιότερα αναισθητικά μηχανήματα υπήρχαν κουμπιά διαφορετικής υφής και χρώματος, ώστε να αποφευχθεί το κατά λάθος άνοιγμα ή κλείσιμο ενός αερίου.

Βασικό είναι το ροόμετρο του οξυγόνου να τοποθετείται μετά τα υπόλοιπα αέρια, ώστε να αποφευχθεί χορήγηση υποξικού μίγματος σε περίπτωση διαρροής από αυτό το ροόμετρο ή βλάβης γενικά.

Γενικά, από το επίπεδο του ροόμετρου και μετά, το μηχάνημα αναισθησίας θεωρείται σύστημα χαμηλών πιέσεων. Τα ροόμετρα επιτρέπουν την ανεξάρτητη ρύθμιση της ροής κάθε αερίου και επιτρέπουν εύρος ροών από 0,2-10 L/min. Αυτή η ακριβής για κάθε αέριο ρύθμιση της ροής επιτυγχάνεται, καθώς περνούν από ειδικούς γυάλινους σωλήνες μεταβαλλόμενης διατομής (σωλήνας Thorpe). Καθώς αυξάνεται η ροή, ένας δείκτης-ειδικό φλοτέρ τύπου μπίλιας ή σφήνας

Πίνακας 14.1

Σύστημα υψηλών πιέσεων (εκτιθέμενο στις πιέσεις των κυλίνδρων)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ζυγός ανάρτησης ▶ Φίλτρα-βαλβίδες αντεπιστροφής ▶ Μανόμετρα ▶ Ρυθμιστές (μειωτήρες) πίεσης
Σύστημα ενδιάμεσων πιέσεων (εκτιθέμενο στις πιέσεις των κεντρικών παροχών-50 psi ή 3-5 Atm)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Παροχές, DISS, βαλβίδες αντεπιστροφής, μανόμετρα ▶ Έξοδος παροχής αναπνευστήρα ▶ Συναγερμοί πτώσης πίεσης O₂ ▶ Βαλβίδες ροομέτρων ▶ Ρυθμιστής O₂ 2^{ου} σταδίου (αν υπάρχει) ▶ Flush O₂
Σύστημα χαμηλών πιέσεων (εκτιθέμενο σε χαμηλές πιέσεις, μετά τα ροόμετρα-εξατμιστήρες)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ροόμετρα (σωληνώδες μεταβλητής διατομής τμήμα) ▶ Εξατμιστήρες ▶ Βαλβίδες αντεπιστροφής (αν υπάρχουν) ▶ Κοινή έξοδος αερίων – KEA

ανεβαίνει στον σωλήνα και επισημαίνει το ύψος της ροής. Σε χαμηλές ροές αερίων η ροή είναι γραμμική και εξαρτάται από το ιξώδες του αερίου, ενώ σε υψηλές ταχύτητες ροής η ροή γίνεται στροβιλώδης και εξαρτάται από την πυκνότητα του αερίου.

Σπιρόμετρα και μετρητές πίεσης

Τα **σπιρόμετρα** είναι συσκευές οι οποίες μετρούν συνεχώς τον αναπνεόμενο όγκο. Το σπιρόμετρο στα σύγχρονα μηχανήματα αναισθησίας τοποθετείται στο εκπνευστικό σκέλος των αναπνευστικών σωλήνων μπροστά από την εκπνευστική βαλβίδα και μετρά τους αντίστοιχους όγκους κατά τη φάση της εκπνοής. Με αυτό τον τρόπο λειτουργεί το **σπιρόμετρο Wright** στο οποίο η κίνηση μίας φτερωτής από τη ροή των αερίων μπορεί να μετρηθεί ηλεκτρονικά ή μηχανικά και να ποσοτικοποιηθεί μετρώντας έτσι τον **κατά λεπτό αερισμό** και τον **αναπνεόμενο όγκο**. Άλλα σπιρόμετρα στηρίζουν τη λειτουργία τους σε μεταβολές της ροής. Γενικά η συμπίκνωση υδρατμών και οι μεταβολές της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσουν τη μέτρηση. Επίσης μεταβολές στις ρυθμίσεις επιφέρουν αντίστοιχες μεταβολές του εκπνεόμενου όγκου. Διαρροή ή δυσλειτουργία του αναπνευστήρα επίσης έχει ως συνέπεια μεταβολές στον εκπνεόμενο όγκο.

Αρκετές φορές παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ του όγκου που αρχικά χορηγείται από το μηχάνημα και του όγκου που καταλήγει στον ασθενή. Αυτό οφείλεται στη χρήση σωλήνων υψηλής ενδοτικότητας και μεγάλου μήκους, σε υψηλή συχνότητα αναπνοών αλλά και σε πιθανή υψηλή πίεση στους αεραγωγούς.

Οι **μετρητές πίεσης** τοποθετούνται συνήθως μεταξύ εισπνευστικής και εκπνευστικής βαλβίδας του αναισθησιολογικού συστήματος, σε θέσεις διαφορετικές ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος αναισθησίας.

Οι πιέσεις αυτές συνήθως αντανακλούν τις πιέσεις των αεραγωγών. Άνοδος της πίεσης αυτής μπορεί να σημαίνει επιδείνωση της ενδοτικότητας των πνευμόνων, αύξηση των αντιστάσεων των αεραγωγών ή και πιθανή απόφραξη σε οποιοδήποτε σημείο του αναισθησιολογικού συστήματος. Πτώση των πιέσεων είναι ενδεικτική βελτίωσης της ενδοτικότητας, πτώσεων των αντιστάσεων στους αεραγωγούς αλλά και πιθανής διαρροής από το σύστημα.

Πλέον όλα τα σύγχρονα μηχανήματα αναισθησίας έχουν τη δυνατότητα να απεικονίζουν γραφικά τις πιέσεις που αναπτύσσονται μέσα στο αναισθησιολογικό σύστημα με αποτέλεσμα την άντληση πολύτιμων πληροφοριών. Κλινικά σημαντικές είναι η **μέγιστη εισπνευστική πίεση** που αποτελεί δείκτη της δυναμικής ενδοτικότητας αλλά και η **πίεση ισορροπίας** (plateau) –είναι η πίεση κατά την εισπνευστική φάση, όταν δεν υπάρχει ροή αερίων και αντικατοπτρίζει τη στατική ενδοτικότητα. Ταυτόχρονη αύξηση των δύο πιέσεων συνηγορεί υπέρ αύξησης του αναπνεόμενου όγκου ή μείωσης της πνευμονικής ενδοτικότητας. Ενώ μονήρης αύξηση στη μέγιστη εισπνευστική πίεση αντανακλά αύξηση στις αντιστάσεις των αεραγωγών ή της εισπνευστικής ροής των αερίων.

Εξατμιστήρες

Τα πτητικά αναισθητικά, τα οποία είδαμε αναλυτικά στο κεφάλαιο των εισπνεόμενων αναισθητικών, μετατρέπονται σε ατμό, πριν χορηγηθούν στον ασθενή. Οι **εξατμιστήρες** επιτελούν αυτή τη λειτουργία. Σε ένα κλειστό δοχείο, όπως μπορεί να θεωρηθεί ο θάλαμος ενός εξατμιστήρα, και σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας η υγρή με την αέρια φάση του πτητικού βρίσκονται σε ισορροπία. Η εξατμηση είναι ενδόθερμη διαδικασία, καταναλώνει δηλαδή ενέργεια



Εικόνα 14.3. Εξατμιστήρες.

και χρειάζεται αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ ελαττώνεται η θερμοκρασία της υγρής φάσης. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, έστω και εξωτερικά, τόσο αυξάνεται η εξάτμιση και η πίεση των ατμών. Τα αέρια διερχόμενα από τον εξατμιστήρα υφίστανται κορεσμό με πτητικό.

Τρεις τύποι εξατμιστήρων θα αναφερθούν. Αρχικά, ιστορικής σημασίας είναι οι **εξατμιστήρες τύπου χάλκινης χύτρας** (Copper Kettle), παλαιότερης τεχνολογίας που ταξινομούνται ως εξατμιστήρες μετρούμενης ροής, καθώς το ποσό του αερίου που διέρχεται μέσα από το πτητικό καθορίζεται από ένα ροόμετρο τύπου Thorpe.

Η ακριβής τιτλοποίηση της δόσης του χορηγούμενου πτητικού αναισθητικού είναι μέγιστης σημασίας, ώστε να αποφευχθεί υπερδοσολογία και ανεπιθύμητα φαινόμενα ή επιδράσεις που αυτή συνεπάγεται. Οι σύγχρονοι εξατμιστήρες αφενός είναι ειδικά σχεδιασμένοι, ώστε να επιτυγχάνουν χορήγηση με ακρίβεια, σταθερής συγκέντρωσης, ανεξάρτητη της θερμοκρασίας και της ροής των αερίων, και αφετέρου είναι ειδικό για κάθε πτητικό παράγοντα. Οι εξατμιστήρες αυτοί έχουν τεχνολογία **μεταβλητής παράκαμψης**, καθώς μέρος του εισερχόμενου αερίου δεν έρχεται ποτέ σε επαφή με την υγρή μορφή διερχόμενο από ειδική δεξαμενή. Η αντιρωλογιακή στροφή μίας βαθμονομημένης εξωτερικής στρόφιγγας εξασφαλίζει τη χορήγηση της επιθυμητής συγκέντρωσης πτητικού με μεγάλη ακρίβεια.

Το δεφλουράνιο έχει ιδιαίτερες φυσικοχημικές ιδιότητες με πολύ υψηλή πίεση ατμών 664 mmHg σε 20°C η οποία φτάνει σε 681 mmHg σε υψηλό υψόμετρο, όπου το δεσφλουράνιο βράζει. Λόγω γενικά του χαμηλού σημείου βρασμού –πολύ κοντά την θερμοκρασία δωματίου–, όπως είδαμε αναλυτικότερα και σε προηγούμενο κεφάλαιο, απαιτεί ξεχωριστή τεχνολογία εξατμιστήρα, ώστε να εξασφαλίζεται ασφαλής χορήγησή του. Για να υπερκεραστεί ο περιορισμός αυτός, σχεδιάστηκε ειδικός εξατμιστήρας μοναδικής τεχνολογίας, **Tec 6 Vaporiser** (GE Healthcare, Little Chalfont, UK).

Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι η πλήρωση κάθε εξατμιστήρα πρέπει να γίνεται αυστηρά με το αέριο για το οποίο έχει κατασκευαστεί. Για την αποφυγή λαθών ακολουθείται χρωματική αντιστοιχία, π.χ. το κίτρινο χρώμα για το σεβοφλουράνιο, το ιώδες για το ισοφλουράνιο και το μπλε για το δεσφλουράνιο –τα συνηθέστερα χορηγούμενα πτητικά αναισθητικά.

Οι εξατμιστήρες τοποθετούνται έξω από το κυκλικό σύστημα, ανάμεσα στα ροόμετρα και την κοινή έξοδο των αερίων, ώστε να μειώνεται η υπερχορήγηση κατά τη χρήση της βαλβίδας ταχείας χορήγησης οξυγόνου (O₂ flush, **Εικ. 14.3**).

Αναπνευστήρας και συναγερμοί αποσύνδεσης

Ο αναπνευστήρας αποτελεί βασικό εξοπλισμό του μηχανήματος αναισθησίας και οι σύγχρονοι αναπνευστήρες στηρίζουν τον τρόπο λειτουργίας τους στην εφαρμογή θετικής πίεσης. Παρέχονται επιλογές διαφόρων μοντέλων αερισμού αλλά και βασικών ρυθμίσεων όπως χορηγούμενης συγκέντρωσης οξυγόνου, αναπνοών ανά λεπτό, σχέσης εισπνοής εκπνοής, αναπνεόμενου όγκου, πίεσης αλλά και εφαρμογής θετικής τελοεκπνευστικής πίεσης (Positive End Expiratory Pressure – PEEP). Ο αναπνευστήρας συνδέ-

Πίνακας 14.2

Παράμετροι	Τιμές
Αναπνεόμενος όγκος (VT)	6-10 ml/kg
Αναπνευστική συχνότητα (RR)	8-12 αναπνοές/λεπτό
Λόγος Εισπνοής/Εκπνοή (I:E)	1:2
PEEP	3-5 cmH ₂ O
Συγκέντρωση O ₂ (FIO ₂)	0,5-1,0 (100%)

εται με την παρουσία προειδοποιητικών συναγερμών αποσύνδεσης για την αποφυγή λαθών και παρατεταμένων ακούσιων περιόδων άπνοιας.

Η λειτουργία του αναπνευστήρα αναλύεται παρακάτω σε αυτό το κεφάλαιο μαζί με τις βασικές αρχές του μηχανικού αερισμού (Πίν. 14.2).

Υγραντήρες – Νεφελοποιητές

Τα εισπνεόμενα αέρια κατά την είσοδό τους στο αναπνευστικό σύστημα θερμαίνονται στο επίπεδο της θερμοκρασίας σώματος και υφίστανται κορεσμό με νερό (100% σχετική υγρασία). Οι υψηλές ροές αερίων και η ενδοτραχειακή διασωλήνωση παρακάμπτουν αυτή τη φυσιολογική διαδικασία εφύγρυνσης και εκθέτουν το αναπνευστικό στα ξηρά αέρια. Αυτό προδιαθέτει σε αφυδάτωση του αναπνευστικού βλεννογόνου, διαταραχές του κροσσωτού επιθηλίου, ατελεκτασίες και λοιμώξεις. Ο ρόλος των **υγραντήρων** έχει σκοπό να μειώσει την απώλεια σε νερό και θερμότητα και να διατηρήσει ικανοποιητικά επίπεδα υγρασίας στο αναπνευστικό σύστημα. Αυξάνουν τις αντιστάσεις του αναισθησιολογικού συστήματος και τον νεκρό χώρο.

Οι **νεφελοποιητές** εμπλουτίζουν το αναπνευστικό σύστημα με σταγονίδια νερού. Υπάρχουν δύο τεχνικές νεφελοποίησης. Αυτή του ψεκασμού υψηλής πίεσης (σταγονί-

δια διαμέτρου 5-30 μm) και αυτή του υπερηχητικού ψεκασμού (σταγονίδια 1-10 μm). Η πρώτη στηρίζεται στο φαινόμενο Bernoulli, όπου το νερό διασπάται σε σταγονίδια από αέρα υψηλής ταχύτητας. Οι υπερηχητικοί νεφελοποιητές μπορεί να προδιαθέσουν σε κίνδυνο υπερυδάτωσης. Οι νεφελοποιητές χρησιμοποιούνται για τη χορήγηση βροχοδιασταλτικών φαρμάκων, κορτιζόνης και φυσιολογικού ορού στους αεραγωγούς των ασθενών, ώστε να κινητοποιηθούν οι εκκρίσεις και να βελτιωθεί η ανταλλαγή αερίων και αναπνευστική λειτουργία.

Αναλυτές οξυγόνου

Η ανάλυση της συγκέντρωσης οξυγόνου είναι αναγκαία κατά τη γενική αναισθησία.

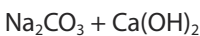
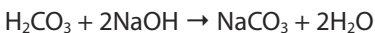
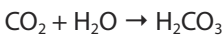
Η φασματογραφία μάζας και η παραμαγνητική μέθοδος χρησιμοποιούνται κατά βάση για την ανάλυση του οξυγόνου. Όλοι οι αναλυτές διαθέτουν συναγερμό χαμηλού ορίου και ενεργοποιούνται αυτόματα. Μπορούν να τοποθετηθούν στο εισπνευστικό ή στο εκπνευστικό σκέλος ενός κυκλικού συστήματος αλλά όχι στη γραμμή των φρέσκων αερίων. Αναμενόμενα, υπάρχει πάντα μια απόκλιση στις τιμές μεταξύ εισπνευστικού και εκπνευστικού σκέλους. Η αύξηση της υγρασίας στα εκπνεόμενα αέρια αφήνει ανεπηρέαστο τον αισθητήρα του οξυγόνου.

Απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα

Ο απορροφητήρας του διοξειδίου αποτελεί μέρος του κλειστού κυκλώματος αναισθησίας, όπως θα δούμε παρακάτω, αλλά για πρακτικούς λόγους σκοπιμότητας αναλύεται σε αυτό το σημείο.

Η απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα από τον εκπνεόμενο αέρα κρίνεται αναγκαία για την αποφυγή υπερκαπνίας. Η επανεισπνοή στα κλειστά αναισθητικά συστήματα, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, ευνοεί τη διατήρηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του κυκλώματος. Το διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με μόρια νερού και σχηματίζεται ανθρακικό οξύ.

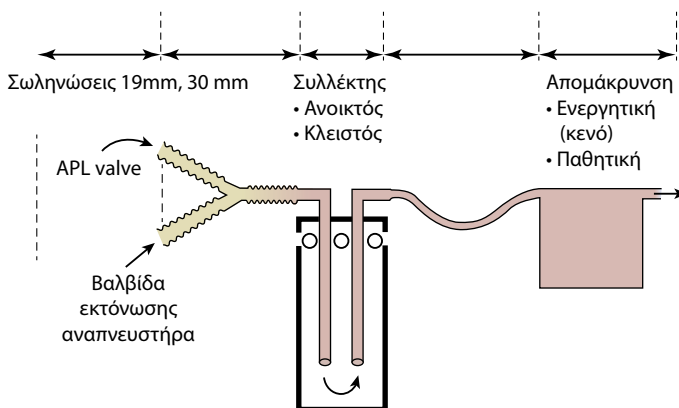
Ειδικά υλικά απορρόφησης διοξειδίου του άνθρακα, όπως είναι τα άλατα νατρίου και βαρίου, εξουδετερώνουν το ανθρακικό οξύ. Οι αντιδράσεις αυτές είναι εξώθερμες και έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό νερού και ανθρακικού ασβεστίου, όπως βλέπουμε κανείς:



Ο απορροφητήρας διοξειδίου αποτελείται από ειδικά κάνιστρα (ένα ή δύο) τα οποία είναι προσαρτημένα στο μηχάνημα αναισθησίας και περιέχουν νατράσβεστο σε κόκκους. Οι κόκκοι νατράσβεσου αποχρωματίζονται από λευκό σε ιώδες χρώμα μέσω μιας ενδεικτικής στο pH χρωστικής (δείκτη), όταν αυξάνονται τα ιόντα υδρογόνου και όσο προχωρά η εξάντληση της απορροφητικής ικανότητας. Η απορροφητική ουσία πρέπει να αλλάζει, όταν αποχρωματίζεται το 50-70% αυτής. Άλλα υλικά κατακράτησης είναι το Amsorb-Ca(OH)₂ και το LiOH, του οποίου τα χαρακτηριστικά υπερέχουν αλλά είναι αποτρεπτικό το κόστος και γι' αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιείται ευρέως.

Σύστημα απομάκρυνσης ή απαγωγής άχρηστων αερίων (Scavenging)

Το σύστημα απομάκρυνσης των αποβαλλόμενων αναισθητικών αερίων είναι υπεύθυνο για την απαγωγή των αερίων από το κυκλικό σύστημα και τον ασθενή, ώστε να αποτρεπεται τόσο η επανεισπνοή, όσο και η διαφυγή στη χειρουργική αίθουσα. Το σύστημα απαγωγής παραλαμβάνει την περίσσεια φρέσκων αερίων από τη βαλβίδα εκτόνωσης (APL valve) του κυκλικού συστήματος



Εικόνα 14.4.

Πίνακας 14.3

	Καθημερινά	Πριν κάθε περιστατικό
1	Έλεγξε AMBU και βοηθητικούς κυλίνδρους O ₂	–
2	Έλεγξε καθαριότητα και λειτουργία αναρρόφησης	ΝΑΙ
3	Άνοιξε το MA και έλεγξε παροχή ρεύματος	–
4	Έλεγξε monitors και συναγερμούς (alarms)	ΝΑΙ
5	Έλεγξε πίεση εφεδρικών κυλίνδρων (MA)	
6	Έλεγξε πίεση κεντρικών παροχών ≥ 50 psi (~3,5 Atm)	
7	Έλεγξε εξατμιστήρες (πλήρωση, αποφυγή υπερπλήρωσης, καλό σφίξιμο του στομίου πλήρωσης)	ΝΑΙ
8	Έλεγξε για διαρροές μεταξύ ροομέτρων και ΚΕΑ	–
9	Έλεγξε λειτουργία συστήματος απαγωγής	–
10	Βαθμονόμηση/Έλεγξε τον αναλυτή O ₂ και το alarm χαμηλής συγκέντρωσης O ₂	–
11	Έλεγξε επάρκεια νατρασβέστου	ΝΑΙ
12	Έλεγξε το κυκλικό σύστημα για πίεση και διαφυγές	ΝΑΙ
13	Επιβεβαίωσε την ομαλή λειτουργία του ΚΣ κατά την εισπνοή και την εκπνοή (βαλβίδες μιας κατεύθυνσης)	ΝΑΙ
14	Έλεγξε τη λειτουργία του αναπνευστήρα και τοποθέτησε τις αντίστοιχες ρυθμίσεις και συναγερμούς	ΝΑΙ
15	Κατέγραψε την ολοκλήρωση του ελέγχου	ΝΑΙ

και του αναπνευστήρα (relief valve) και τα απομακρύνει. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση των αποβαλλόμενων αερίων στον χώρο είναι η επιλογή των παραμέτρων του αερισμού, το είδος της αναισθητικής τεχνικής, το μηχάνημα της αναισθησίας αλλά και η καλή ή όχι λειτουργία του συστήματος απαγωγής. Τα συστήματα απαγωγής χωρίζονται σε κλειστά ή ανοικτά ανάλογα με το αν υπάρχει παρουσία κλειστού ή ανοικτού συλλέκτη, ο οποίος γενικά προστατεύει τον ασθενή από την παρουσία θετικών ή αρνητικών πιέσεων. Η σύγχρονη

τάση είναι τα συστήματα να φέρουν ανοιχτό συλλέκτη, γιατί θεωρείται ασφαλέστερο για τον ασθενή παρά τη διαφυγή στο περιβάλλον. Η απαγωγή των αερίων είναι παθητική ή ενεργητική με τη χρήση αναρρόφησης, το σύστημα τις οποίες πρέπει να είναι πάντα ανοικτό, ώστε να αποφεύγεται επιστροφή των αερίων στο περιβάλλον της χειρουργικής αίθουσας (Εικ. 14.4).

Έλεγχος μηχανήματος αναισθησίας

Ο έλεγχος του μηχανήματος αναισθησίας κρίνεται απαραίτητος για την ασφαλή χο-

ρήγηση αναισθησίας και η Αμερικανική Εταιρεία Αναισθησιολόγων (ASA) θέσπισε το 2008 βασικές Κατευθυντήριες Οδηγίες, όσον αφορά τον έλεγχο πριν από την αναισθησία. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και πληροφορίες από το εγχειρίδιο λειτουργίας από τον κατασκευαστή συγκεκριμένα για το κάθε μηχάνημα (Πίν. 14.3).

Σύγχρονο μηχάνημα αναισθησίας

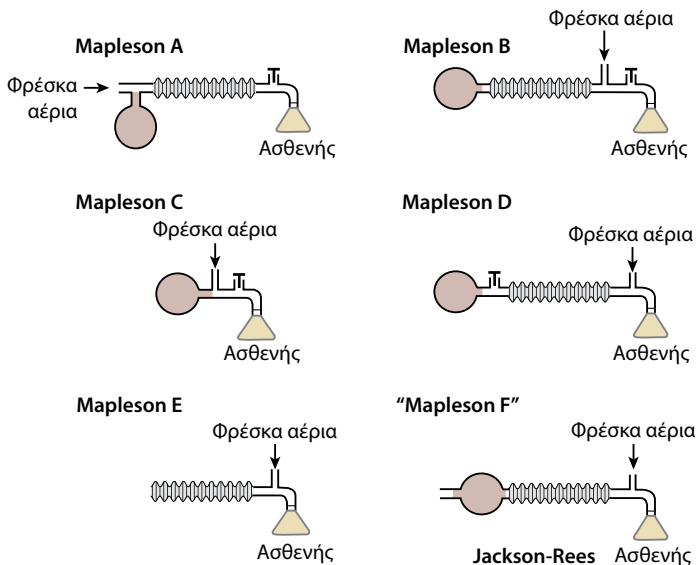
Παραπάνω παρουσιάστηκε η κλασική περιγραφή των μερών ενός αναισθητικού μηχανήματος με τα περισσότερα από αυτά να είναι προσαρτημένα εξωτερικά στην κεντρική μονάδα. Στα βασικά νέα χαρακτηριστικά αξίζει να αναφερθεί η διαφορά στον τρόπο λειτουργίας η οποία αποχωρίζει τα φρέσκα αέρια από το κυκλικό αναισθητικό κύκλωμα (αποσύζευξη φρέσκων αερίων) κατά τη φάση της εισπνοής μέσω του ασκού επανεισπνοής και της επακόλουθης επαναφοράς στο κυκλικό σύστημα κατά την εκπνευστική φάση με αποτέλεσμα τη χορήγηση αναπνε-

όμενων όγκων με μεγάλη ακρίβεια αλλά και την ελαχιστοποίηση βαροτραύματος.

Πλέον τα νέα μηχανήματα διαφέρουν ως προς τον σχεδιασμό και την εργονομία και επιτελούν περισσότερους ρόλους με αυτοματοποιημένα συστήματα, μονάδες ανάλυσης και επεξεργασίας, καθώς και πιο σύγχρονα monitors, ενώ τεχνολογία αφής έχει αντικαταστήσει τα κλασικά κουμπιά. Παρέχουν επίσης δυνατότητες για εγκατάσταση ηλεκτρονικού διαγράμματος με ιδιαίτερα σύνθετο λογισμικό και δυνατότητα πλήρους και ακριβούς καταγραφής διεγχειρητικών πληροφοριών και συμβάντων, καθώς και χορήγησης φαρμάκων.

Διανομή και αναπνευστικά κυκλώματα

Το στάδιο της διανομής ουσιαστικά περιλαμβάνει τη διακίνηση των φρέσκων αερίων και εισπνεόμενων αναισθητικών παραγόντων από το μηχάνημα αναισθησίας στον ασθενή και αντίστροφα. Τα αναπνευστικά κυκλώματα επιτελούν αυτό τον σκοπό και ταξινο-



Εικόνα 14.5. Ταξινόμηση ανοικτών αναισθητικών συστημάτων κατά Mapleson.

μούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα ανοικτά κυκλώματα και το κλειστό ή κύκλωμα αναισθησίας. Το πιο απλό ανοικτό σύστημα θεωρείται αυτό της απλής μάσκας οξυγόνου χωρίς αποθεματικό ασκό και είναι αυτό όπου πραγματικά δεν παρατηρείται φαινόμενο επανεισπνοής. Όλα τα υπόλοιπα συστήματα διαθέτουν αποθεματικό ασκό, για να επιτρέπουν υψηλότερες ροές κατά την εισπνοή και γι' αυτό τον λόγο χαρακτηρίζονται από επανεισπνοή διαφορετικού βαθμού ανάλογα με τη ροή των φρέσκων αερίων. Εάν η ροή είναι μεγαλύτερη από τον κατά λεπτό αερισμό, τότε αυτό το φαινόμενο περιορίζεται αρκετά. Το κυκλικό αναπνευστικό σύστημα είναι αυτό που χρησιμοποιείται σταθερά και συχνότερα στις μέρες μας στα σύγχρονα αναισθησιολογικά μηχανήματα.

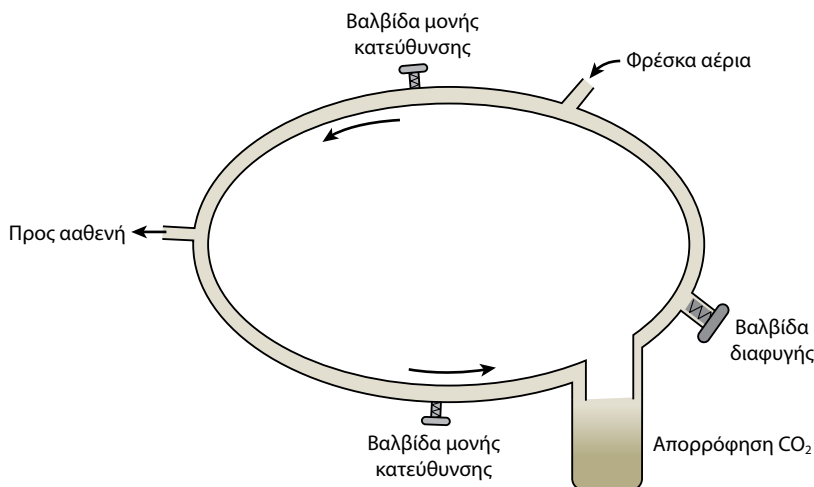
Συστήματα Mapleson

Τα συστήματα αυτά κατηγοριοποιήθηκαν από τον Mapleson το 1954 και αρκετά από αυτά βρίσκονται σε χρήση ακόμη και σήμερα. Τα κοινά χαρακτηριστικά τους είναι η απουσία βαλβίδων μονής κατεύθυνσης, συ-

νεπώς έχουν χαμηλή αντίσταση στις ροές και στηρίζονται στην παρουσία αποθεματικού ασκού. Για αποφυγή φαινομένων επανεισπνοής απαιτούνται υψηλές ροές πολύ υψηλότερες του αναπνεόμενου όγκου, πρακτικά μεγαλύτερες από 5 L/λεπτό. Χρησιμοποιούνται σε όλο το ηλικιακό φάσμα ασθενών και το Mapleson F με τον ανοικτό αποθεματικό ασκό (τροποποίηση κατά Jackson-Rees του Ayre's T-piece) είναι ιδιαίτερα δημοφιλές για χρήση στην παιδοαναισθησία. Στα βασικά τους πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται η ευκολία στη χρήση και συντήρηση, ενώ στα μειονεκτήματα η ξήρανση των αεραγωγών, η υποθερμία, η ρύπανση του περιβάλλοντος (Εικ. 14.5).

Κυκλικό ή Κλειστό Αναισθητικό Σύστημα

Το κυκλικό αναισθητικό σύστημα μεταφέρει τα φρέσκα αέρια και τα πτητικά αναισθητικά από το μηχανήμα αναισθησίας στις αεροφόρους οδούς του ασθενή. Στο κυκλικό σύστημα ως κλειστό σύστημα αναπόφευκτα λαμβάνει χώρα επανεισπνοή των εκπνεόμενων αερίων. Πρώτα όμως απομακρύνεται



Εικόνα 14.6. Κυκλικό Σύστημα Αναισθησίας.

το διοξείδιο του άνθρακα και υπάρχει επανατροφοδότηση των λοιπών φρέσκων και πτητικών αερίων τα οποία απορροφήθηκαν. Το διοξείδιο του άνθρακα κατακρατείται από χημικές ουσίες, όπως είδαμε αναλυτικότερα παραπάνω. Τα μέρη ενός τέτοιου συστήματος είναι τα ακόλουθα: βαλβίδες μονήρους κατεύθυνσης, το συνδετικό Υ του ασθενή, το δοχείο απορρόφησης διοξειδίου του άνθρακα (κάνιστρο νατράσβεστου), η βαλβίδα εκτόνωσης πίεσης, η σύνδεση με τον αναπνευστήρα ή εναλλακτικά τον ασκό και τέλος, η είσοδος των φρέσκων αερίων από το αναισθησιολογικό μηχάνημα.

Το σύστημα αυτό έχει πολλά πλεονεκτήματα και τα βασικότερα από αυτά είναι η μείωση της ρύπανσης της χειρουργικής αίθουσας με αναισθητικά αέρια, η ελάττωση του κόστους των αναισθητικών αερίων, η αποφυγή υποθερμίας και η αποφυγή ξήρανσης των αεραγωγών (Εικ. 14.6).

II. ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Ο αναπνευστήρας αποτελεί αναπόσπαστο εξοπλισμό του μηχανήματος αναισθησίας και επιτελεί τη λειτουργία του αερισμού μέσα στο χειρουργείο. Κατά τη διάρκεια της αναισθησίας ο αναπνευστήρας είναι εντελώς απαραίτητος, για να εξασφαλιστεί ο μηχανικός αερισμός και η οξυγόνωση του ασθενή. Ο αναπνευστήρας είναι σε γενικές γραμμές μια γεννήτρια ροής που υποστηρίζει την αναπνευστική λειτουργία με την εφαρμογή θετικών πιέσεων στους πνεύμονες. Οι αναπνευστήρες, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται, διακρίνονται σε αναπνευστήρες χειρουργείου, αναπνευστήρες μονάδας και αναπνευστήρες μεταφοράς. Οι αναπνευστήρες χειρουργείου είναι κατά βάση απλοί, γιατί οι ασθενείς στη χειρουργική αίθουσα είναι σε μηχανικό αερισμό για μικρό χρονικό διάστημα και δεν

έχουν παθολογία στον πνεύμονα. Οι αναπνευστήρες χειρουργείου παρέχουν περιορισμένο αριθμό τύπων αερισμού και εξασφαλίζουν την παροχή ενός μίγματος αερίων που αποτελείται από οξυγόνο και αέρα σε αναλογία που καθορίζει ο αναισθησιολόγος, με τη δυνατότητα προσθήκης και πτητικού αναισθητικού μέσω των εξαεριστήρων των πτητικών που καταλήγουν στο εισπνευστικό κύκλωμα του αναπνευστήρα του χειρουργείου.

Επίσης υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλεκτρονικά ελεγχόμενων αναπνευστήρων όπως αυτοί με **μηχανισμό εμβόλου (Piston Ventilators)** μονού κυκλώματος που δεν χρειάζονται οδηγό αέριο και αυτοί με **μηχανισμό φυσούνας (Bellow Ventilators)**, οι οποίοι είναι διπλού κυκλώματος και με τη σειρά τους διαχωρίζονται σε αναπνευστήρες αναδύμενης ή καταδύμενης φυσούνας ανάλογα με την κίνηση της φυσούνας. Γενικά αυτοί με αναδύμενη φυσούνα θεωρούνται ασφαλέστεροι, καθώς τυχόν διαρροή γίνεται ευκολότερα αντιληπτή λόγω αδυναμίας ανόδου της φυσούνας αντίθετα προς τη βαρύτητα.

Ο μηχανικός αερισμός επιτυγχάνεται με την εφαρμογή θετικής πίεσης στους ανώτερους αεραγωγούς του ασθενή. Κατά τη διάρκεια της εισπνοής χορηγείται μίγμα φρέσκων αερίων από τον αναπνευστήρα στον ασθενή και λόγω της διαφοράς των πιέσεων ανάμεσα στους πνεύμονες και στους αεραγωγούς ο αέρας εισέρχεται στους πνεύμονες. Η εκπνοή συμβαίνει παθητικά με την ελάττωση των θετικών πιέσεων. Με την είσοδο και έξοδο των αερίων επιτυγχάνεται η οξυγόνωση και η αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα. Η εναλλαγή εισπνοής και εκπνοής προκαλεί μεταβολή πιέσεων και ροών στο αναπνευστικό κύκλωμα και στους αεραγωγούς του ασθενή. Οι αναπνευστήρες των σύγχρονων αναισθησιολογικών μηχανημά-