

## Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society

Vol 59, No 1 (2008)



### Fatal venous air embolism in swine during surgical procedure

M KATSIMPOULAS, I KAKISIS, M PEROULIS, K DIMITRIOU, E BALAFAS, N KOSTOMITSOPOULOS

doi: [10.12681/jhvms.14950](https://doi.org/10.12681/jhvms.14950)

Copyright © 2018, M KATSIMPOULAS, I KAKISIS, M PEROULIS, K DIMITRIOU, E BALAFAS, N KOSTOMITSOPOULOS



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

#### To cite this article:

KATSIMPOULAS, M., KAKISIS, I., PEROULIS, M., DIMITRIOU, K., BALAFAS, E., & KOSTOMITSOPOULOS, N. (2018). Fatal venous air embolism in swine during surgical procedure. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 59(1), 71–76. <https://doi.org/10.12681/jhvms.14950>

## Fatal venous air embolism in swine during surgical procedure

Katsimpoulas M., DVM, Kakisis I., MD, PhD, Peroulis M., MD,  
Dimitriou K., BSc, DIC, MSc, Balafas E., LATG, Kostomitsopoulos N., DVM, PhD.

Center for Experimental Surgery, Biomedical Research Foundation of the Academy of Athens

## Θανατηφόρος εμβολή με αέρα της φλεβικής κυκλοφορίας σε χοίρο κατά τη διάρκεια χειρουργικής επέμβασης

M. Κατσιπούλας, DVM, Μεταπτυχιακός Φοιτητής, I. Κακίσης, MD, PhD, Ερευνητής,  
M. Περούλης, MD, Μεταπτυχιακός Φοιτητής, K. Δημητρίου, BSc, DIC, MSc, Ειδικός Λειτουργικός  
Επιστήμονας Γ', E. Μπαλάφας, LATG, Τεχνολόγος,  
N. Κωστομητσόπουλος, DVM, PhD, Ειδικός Λειτουργικός Επιστήμονας Α'

Κέντρο Πειραματικής Χειρουργικής, Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών Ακαδημίας Αθηνών

**ABSTRACT.** Air embolism can occur after minor invasive procedures, as well as during major surgical operations. Reports of air embolism cases in veterinary literature are not very often, although it is considered that it happens more often than it is recognized. During a surgical procedure in swine, for the creation of a fistula of PTFE graft between the right common carotid artery and the right jugular vein under general anaesthesia, the animal died due to massive venous air embolism. Although it is supposed that the air was possibly inserted through the anaesthetic machine or through the anastomosis, the exact mechanism of the air insertion remains unknown.

**Key words:** air embolism, arteriovenous fistula, swine

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ.** Η εμβολή με αέρα της φλεβικής κυκλοφορίας είναι ένα σχετικά σπάνιο γεγονός που μπορεί να συμβεί τόσο κατά την εκτέλεση απλών χειρουργικών χειρισμών όσο και κατά τη διάρκεια μεγάλων χειρουργικών επεμβάσεων. Αν και υπάρχει πληθώρα βιβλιογραφικών αναφορών για τον άνθρωπο, η αναφορά περιστατικών σε ζώα είναι περιορισμένη. Περιγράφεται περιστατικό φλεβικής εμβολής με αέρα, που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια χειρουργικής επέμβασης, για την τοποθέτηση μοσχεύματος από πολυτετραφλουοροαιθυλένιο μεταξύ κοινής καρωτίδας και έξω σφαγίτιδας φλέβας σε χοίρο. Πριν και μετά την τοποθέτηση του μοσχεύματος πραγματοποιήθηκε λήψη μετρήσεων της ενδοαγγειακής πίεσης και των μεταβολών της διαμέτρου της έξω σφαγίτιδας φλέβας, κεντρικά και περιφερικά της αναστόμωσης του μοσχεύματος, καθώς και μετρήσεις των μεταβολών της ροής τόσο στην κοινή καρωτίδα όσο και στην έξω σφαγίτιδα φλέβα, κεντρικά και περιφερικά των αντίστοιχων αναστομώνσεων. Το ζώο παρέμεινε σταθερό αιμοδυναμικά για δύο ώρες και σαράντα λεπτά, οπότε αφνιδίως παρατηρήθηκε ραγδαία πτώση του κορεσμού του αίματος σε οξυγόνο με ταυτόχρονη μείωση της καρδιακής συχνότητας. Παρά τους χειρισμούς που έγιναν από τη χειρουργική ομάδα, μετά από δέκα λεπτά το ζώο κατέληξε. Κατά τη νεκροτομική εξέταση παρατηρήθηκε συγγέντρωση μεγάλης ποσότητας αέρα στη δεξιά καρδιά, στην πρόσθια και την οπίσθια κοίλη φλέβα, στην πνευμονική αρτηρία, καθώς και στις στεφανιαίες αρτηρίες. Παρόλο που πιθανολογείται ότι η είσοδος του αέρα έγινε από την αναισθητική μηχανή ή το σημείο της αναστόμωσης, ο τρόπος εισόδου παραμένει άγνωστος.

**Λέξεις ευρετηρίασης:** εμβολή αέρα, αρτηριοφλεβική επικοινωνία, χοίρος

**Correspondence:** Katsimpoulas M.  
4, Soranou Ephesius str., 115 27 Athens, Greece, Tel.: 210 659 7366, Fax. 210 659 7365  
E-mail: mkatsiboulas@bioacademy.gr

**Αλληλογραφία:** M. Κατσιπούλας  
Σωρανού του Εφεσίου 4, 115 27 Αθήνα, Τηλ. 210 659 7366, Fax. 210 659 7365  
E-mail: mkatsiboulas@bioacademy.gr

**Submission date:** 07.11.2007  
**Approval date:** 02.04.2008

**Ημερομηνία υποβολής:** 07.11.2007  
**Ημερομηνία εγκρίσεως:** 02.04.2008

**Η** εμβολή από αέρα της φλεβικής κυκλοφορίας, τόσο στον άνθρωπο όσο και στα ζώα, είναι μία σχετικά σπάνια επιπλοκή ιατρογενούς κυρίως αιτιολογίας, που μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στο θάνατο του οργανισμού (Muth and Shank 2000). Όπως αναφέρεται από τους Gorman και Mitchell, η πρώτη περιγραφή περιστατικού φλεβικής εμβολής σε άνθρωπο έγινε από τον Magendie το 1821. Οι βιβλιογραφικές αναφορές σε ανάλογα περιστατικά σε ζώα είναι πολύ περιορισμένες (Thayer GW et al. 1980, Walsh VP et al. 2005, Bradbury LA et al. 2005, Ober CP et al. 2006) σε αντίθεση με την αντίστοιχη ιατρική βιβλιογραφία, όπου τα περιστατικά είναι πολυάριθμα. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την αδυναμία διάγνωσης της επιπλοκής αυτής στα ζώα.

Η εμβολή από αέρα εκδηλώνεται, κυρίως, με αύξηση της πνευμονικής αρτηριακής πίεσης και αύξηση της συστηματικής αρτηριακής πίεσης, η οποία είναι λιγότερο σταθερή και μικρότερη σε εύρος από την αντίστοιχη πνευμονική. Επιπλέον, παρατηρείται αύξηση των πνευμονικών αντιστάσεων και μείωση του όγκου παλμού λόγω δραματικής μείωσης του προφορτίου των κοιλιών, με αποτέλεσμα τη δεξιά καρδιακή ανεπάρκεια (Deal CW et al. 1971, Oyama Y et al. 1971, Verstappen FT et al. 1977, Cockett PB et al. 1979). Η βαρύτητα των συμπτωμάτων εξαρτάται από την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στη φλεβική κυκλοφορία, την ταχύτητα εισόδου, το είδος του αερίου, καθώς και από τη θέση του ασθενούς στο χειρουργικό τραπέζι, εφόσον πρόκειται για άνθρωπο (Durant TM et al. 1947, Verstappen FT et al. 1977, Hlastala et al. 1979). Η πλέον ευαίσθητη διαγνωστική μέθοδος για τη διαπίστωση της αερώδους εμβολής αποτελεί το διοισοφάνιο υπερηχοτομογράφημα (Furuya H et al. 1983), ενώ την ίδια σχεδόν ευαισθησία έχει και η μέλετη με προκάρδιο Doppler υπερηχοτομογράφημα (Chang JL et al. 1980).

Περιγράφεται περιστατικό εμβολής με αέρα της φλεβικής κυκλοφορίας σε χοίρο που εκδηλώθηκε κατά τη διάρκεια χειρουργικής επέμβασης για την τοποθέτηση μοσχεύματος από πολυτετραφλουοροαιθυλένιο μεταξύ της έξω σφαγίτιδας και της κοινής καρωτίδας.

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ

Στα πλαίσια εκτέλεσης εγκεκρωμένου, από την αρμόδια Κτηνιατρική αρχή και από την Επιτροπή Βιοηθικής του Ιδρύματος Ιατροβιολογικών Ερευνών της

Ακαδημίας Αθηνών, ερευνητικού πρωτοκόλλου, θηλυκός χοίρος σωματικού βάρους 80 kg της φυλής Landrace × Large White υποβλήθηκε σε χειρουργική επέμβαση που συνίστατο σε τοποθέτηση συνθετικού μοσχεύματος από πολυτετραφλουοροαιθυλένιο διαμέτρου 6 mm μεταξύ της δεξιάς κοινής καρωτίδας και της ομόπλευρης έξω σφαγίτιδας φλέβας.

Η προαναισθητική αγωγή περιελάμβανε την ενδομυϊκή χορήγηση μιδαζολάμης 0,4mg/kg (Dormicum, Roche), κεταμίνης 10 mg/kg (Imalgen, Merial) και ατροπίνης 0,05 mg/kg. Μετά την πάροδο 15 λεπτών από την προαναισθητική αγωγή, έγινε εγκατάσταση της αναισθησίας με σταδιακή έγχυση συνολικά 425 mg πεντοθάλης (Pentothal, Abbott 1gr/vial). Ακολούθως το ζώο διασωληνώθηκε και συνδέθηκε με αναπνευστήρα (Halowell EMC, Model 2000) και αναισθησιολογική συσκευή (MDS Matrix). Η διατήρηση της αναισθησίας έγινε με τη χορήγηση μίγματος σεβοφλουρανίου (Sevorane, Abbott) 3-5% σε οξυγόνο. Καθ' όλη τη διάρκεια της επέμβασης υπήρχε συνεχής παρακολούθηση της καρδιακής συχνότητας, του κορεσμού του αίματος σε οξυγόνο, καθώς και της θερμοκρασίας του ζώου (Passport 2002-Datascope). Κατά την έναρξη χορήγησης του σεβοφλουρανίου η θερμοκρασία του σώματος καταγράφηκε στους 37,2 °C, η καρδιακή συχνότητα στους 106 παλμούς/λεπτό και ο κορεσμός του αίματος σε O<sub>2</sub> 99%.

Μετά την εγκατάσταση της αναισθησίας, το ζώο διατηρήθηκε σε ύπτια θέση με υπερέκταση της κεφαλής. Αρχικά έγινε έγχρωμο υπερηχογράφημα (VIVID 7 echocardiography system, GE Vingmed Ultrasound, i13L (13-MHz) linear array transducer) για την καταγραφή της διαμέτρου (B-mode) και του φάσματος των ταχυτήτων ροής (Pulse Wave) στη δεξιά κοινή καρωτίδα και την ομόπλευρη έξω σφαγίτιδα φλέβα, όπως επίσης και της κινητικότητας του τοιχώματος των ανωτέρω αγγείων (M-mode). Ακολούθησε μέση τραχηλική τομή και παρασκευή της δεξιάς κοινής καρωτίδας και της δεξιάς έξω σφαγίτιδας φλέβας. Διενεργήθηκε διεγχειρητικό έγχρωμο υπερηχογράφημα και στη συνέχεια τοποθετήθηκε καθετήρας μέτρησης ενδαγγειακής πίεσης υψηλής πιστότητας (Millar, Houston, Texas, USA) στην έξω σφαγίτιδα φλέβα, ζεύγος πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων μέτρησης μεταβολών εξωτερικής διαμέτρου του αγγείου, περιαγγειακά και αντιδιαμετρικά (Sonometrics Co, Ontario Canada), στην έξω σφαγίτιδα φλέβα, καθώς και περιαγγειακοί αισθητήρες μέτρησης ροής TS420 (Tran-

sonic systems, Ithaca, NY, USA) τόσο στην κοινή καρωτίδα όσο και στην έξω σφαγίτιδα φλέβα. Ακολούθως χορηγήθηκαν 5.000 i.u. ηπαρίνης ενδοφλεβίως και τοποθετήθηκε μόσχευμα πολυτετραφλουροαιθυλενίου, διαμέτρου 6 mm με δακτυλίους, με μορφή αγκύλης (U), μεταξύ της κοινής καρωτίδας και της έξω σφαγίτιδας φλέβας με τελικοπλάγιες αναστομώσεις και στα δύο αγγεία. Επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις της ενδαγγειακής πίεσης και των μεταβολών της διαμέτρου της έξω σφαγίτιδας φλέβας, κεντρικά και περιφερικά της αναστόμωσης του μοσχεύματος, καθώς και οι μετρήσεις των μεταβολών της ροής τόσο στην κοινή καρωτίδα όσο και στην έξω σφαγίτιδα φλέβα, κεντρικά και περιφερικά των αντίστοιχων αναστομώσεων.

Το ζώο παρέμεινε σταθερό αιμοδυναμικά για δύο ώρες και σαράντα λεπτά. Σαράντα πέντε λεπτά από την έναρξη της διαδικασίας των αναστομώσεων παρατηρήθηκε αύξηση της καρδιακής συχνότητας στους 128 παλμούς/λεπτό, η οποία παρέμεινε στα επίπεδα αυτά για δύο ώρες και δεκαπέντε λεπτά και υποχώρησε στη συνέχεια στα αρχικά επίπεδα. Στο σημείο αυτό είχε ολοκληρωθεί η τοποθέτηση του μοσχεύματος και θα ακολουθούσε διεγχειρητική αγγειογραφία. Αιφνιδίως άρχισε να παρατηρείται ραγδαία πτώση του κορεσμού του αίματος σε οξυγόνο με ταυτόχρονη μείωση της καρδιακής συχνότητας. Διακόπηκε άμεσα η χορήγηση σεβοφλουρανίου και χορηγήθηκαν ενδοφλέβια 2 ml αδρεναλίνης και 20 mEq διττανθρακικού νατρίου. Το ζώο εμφάνισε κοιλιακή μαρμαρυγή, η οποία έγινε προσπάθεια να αναταχθεί με απινίδωση ( Responder 3000, GE Medical Systems) αρχικά με 150 J, στη συνέχεια με 200 J και την τελευταία φορά με 300 J. Έγινε επανάληψη της ενδοφλέβιας χορήγησης 2 ml αδρεναλίνης και 20 mEq διττανθρακικού νατρίου, καθώς και 2 ml ξυλοκαΐνης (Xylocaine 2%, Astra Zeneka). Παρά τις προσπάθειες και τη θεραπευτική αγωγή το ζώο κατέληξε μετά την πάροδο δέκα λεπτών. Για τη διερεύνηση των αιτιών του θανάτου διενεργήθηκε νεκροψία και νεκροτομή. Κατά τη διάνοιξη της θωρακικής και της κοιλιακής κοιλότητας διαπιστώθηκε ότι η δεξιά καρδιά, η πρόσθια και η οπίσθια κοίλη φλέβα, η πνευμονική αρτηρία, καθώς και οι στεφανιαίες αρτηρίες ήταν γεμάτες από πολυάριθμες μικροσκοπικές φυσαλίδες αέρα.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η είσοδος αέρα στη φλεβική κυκλοφορία μπορεί

να επισυμβεί κατά τη διενέργεια απλών χειρουργικών χειρισμών ή κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων, καθώς επίσης κατά την εισαγωγή, τη διατήρηση ή την αφαίρεση ενός φλεβοκαθετήρα (Halliday et al. 1994, Palmon et al. 1997). Σε πολλές μελέτες αναφέρεται ότι σημαντικό ρόλο για την πρόκληση φλεβικής εμβολής με αέρα διαδραματίζουν οι ελαττωματικοί φλεβοκαθετήρες (Lambert 1982, Thielen and Nyquist 1995, Lee and Roy 1995, Tien and Drescher 1999, Boer and Hene 1999).

Εμβολές με αέρα στον άνθρωπο έχουν παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια νευροχειρουργικών επεμβάσεων (Buckland and Manners 1976, Albin et al. 1978, Losasso et al. 1992, Papadopoulos et al. 1994,) ιδιαίτερα όταν ο ασθενής βρίσκεται σε καθιστή θέση (Porter et al. 1999) και σε πολύ μικρότερη συχνότητα όταν ο ασθενής βρίσκεται σε πρηνή ή ύπτια θέση (Albin et al. 1991).

Είσοδος αέρα στη φλεβική κυκλοφορία είναι δυνατό, επίσης, να συμβεί σε καρδιαγγειακές (Murray 1981, Murphy et al. 1985, Seidelin et al. 1987), σε λαπαροσκοπικές (McGrath et al. 1989, Paw and Sackier 1994, Derouin et al. 1996, Isaacson 1999), καθώς και σε ορθοπαιδικές επεμβάσεις, όπως είναι η ολική αρθροπλαστική του ισχίου (Michel 1980). Τέλος, είσοδος αέρα στα φλεβικά στελέχη μπορεί να παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια μηχανικού αερισμού των πνευμόνων (Marini and Culver 1989) και κυρίως σε περιπτώσεις προϋπάρχοντος τραύματος του πνευμονικού παρεγχύματος (Michel 1980).

Η σοβαρότητα της εμβολής εξαρτάται από την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στην κυκλοφορία, καθώς και από την ταχύτητα της εισόδου του αέρα. Σημαντικό, επίσης, ρόλο στην τελική έκβαση του ασθενούς διαδραματίζει η σύσταση του αέρα. Τις περισσότερες φορές η εμβολή είναι από ατμοσφαιρικό αέρα, αλλά εμβολή μπορεί να επέλθει και από διοξείδιο του άνθρακα, από μονοξείδιο του αζώτου, από άζωτο και από ήλιο (De la Torre et al. 1962, McGrath et al. 1989, Mitchell et al. 2000). Οι εμβολές με ατμοσφαιρικό αέρα προκαλούν, λόγω της παρουσίας του αζώτου, καρδιακή αρρυθμία, καρδιακή ανεπάρκεια, πνευμονική υπέρταση και πνευμονικό οίδημα, ενώ η εμβολή με διοξείδιο του άνθρακα, εφόσον δεν είναι μαζική και ταχεία, έχει καλύτερη έκβαση δεδομένου ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι σαράντα φορές πιο ευδιάλυτο στο αίμα από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Το σημείο εισόδου του αέρα στη φλεβική κυκλοφορία, η θέση του ασθενούς, καθώς και η συνύπαρξη μηχανικής υποστήριξης της αναπνοής αποτελούν παραμέτρους που επηρεάζουν την είσοδο αέρα στη φλεβική κυκλοφορία, αλλά και τις απώτερες συνέπειες της εμβολής (Durant et al. 1947, Verstappen et al. 1977, Hlastala et al. 1979).

Μελέτες σε ζωικά πρότυπα έχουν αποδείξει ότι είναι δυνατή η επιβίωση του ζώου για πολλές ώρες ακόμα και μετά την είσοδο στη φλεβική κυκλοφορία 4 lt αέρα, εφόσον, όμως, ο ρυθμός της εισαγωγής του είναι βραδύς (Verstappen FT et al. 1977, Hybels 1980). Σε αντίθετη περίπτωση, η ταχεία είσοδος, ακόμα και μικρής ποσότητας αέρα, μπορεί να επιφέρει το θάνατο. Ο οργανισμός μπορεί να ανεχθεί ποσότητα αέρα χωρίς ανεπανόρθωτες επιπτώσεις σε όγκο που να κυμαίνεται από 0,05 έως 0,3 ml/kg/min (Butler and Hills 1985).

Η διάμετρος του φλεβικού αγγείου που τραυματίζεται και αποτελεί την πύλη εισόδου του αέρα διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο στην τελική έκβαση, γιατί όσο μεγαλύτερο είναι το αγγείο τόσο μεγαλύτερη ποσότητα αέρα μπορεί να εισχωρήσει στην κυκλοφορία (Hybels 1980). Προκειμένου για τον άνθρωπο, η θέση του ασθενούς είναι σημαντική, γιατί η φλεβική πίεση σε ύπτια θέση είναι περίπου 15 mmHg της στήλης υδραργύρου, ενώ σε όρθια θέση είναι όση η ατμοσφαιρική πίεση του χώρου όπου βρίσκεται ο ασθενής, και εξαρτάται από την υψομετρική απόσταση από τη στάθμη της θάλασσας. Πρέπει, επιπλέον, να ληφθεί υπόψη ότι η πίεση των μεγάλων ενδοθωρακικών φλεβικών αγγείων, κατά τη φάση της εισπνοής, γίνεται αρνητική και μπορεί να φτάσει μέχρι και 20-25 mmHg κάτω από την ατμοσφαιρική, γεγονός που διευκολύνει και επιταχύνει την είσοδο του αέρα στη φλεβική κυκλοφορία μέσω του τραυματισμένου μεγάλου φλεβικού αγγείου με μηχανισμό παρόμοιο με αυτόν που διακινείται ο αέρας από τη στοματορινική κοιλότητα προς τους πνεύμονες (Hybels 1980).

Η εμβολή με αέρα, που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια ελεγχόμενου αερισμού των πνευμόνων, αυξάνει σημαντικά την πίεση εντός των πνευμονικών αρτηριών, αδιακρίτως της ποσότητας και του ρυθμού εισαγωγής του αέρα, και στη συνέχεια προκαλεί μείωση του τελοεκπνευστικού διοξειδίου του άνθρακα.

Στο ηλεκτροκαρδιογράφημα παρατηρείται ταχυαρρυθμία, διαφόρου βαθμού κολποκοιλιακός απο-

κλεισμός και αλλαγές του S-T διαστήματος. Μεταβολή, επίσης, παρατηρείται και στη συστηματική αρτηριακή πίεση, η οποία αυξάνεται, όχι όμως στο ποσοστό που μεταβάλλεται η πνευμονική αρτηριακή πίεση (Souders 2000).

Σημαντικό σημείο στην τελική έκβαση της εμβολής της φλεβικής κυκλοφορίας από αέρα είναι η παράδοξη εμφάνιση αέρα στην αρτηριακή κυκλοφορία. Αυτό μπορεί να συμβεί με μεταφορά αέρα από τα φλεβικά στα αρτηριακά τριχοειδή λόγω της αυξημένης ενδοαγγειακής πίεσης ή μέσω του παραμένουστος ανοικτού ωοειδούς τρήματος της καρδιάς (Fraker 1979). Σε μελέτη των Vik και συν. (1990) σε χοίρο διαπιστώθηκε μεγαλύτερο ποσοστό διαφυγής από τη φλεβική προς την αρτηριακή κυκλοφορία, σε σχέση με άλλα ζωικά είδη, παρ' όλο που η ποσότητα του αέρα που διοχετεύθηκε στη φλεβική κυκλοφορία ήταν ίδια. Πιθανολογείται ότι το γεγονός αυτό συμβαίνει λόγω των αιμοδυναμικών ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζει το συγκεκριμένο είδος ζώου. Αέρας μπορεί, επίσης, να μεταφερθεί διαμέσου των προτριχοειδικών αρτηριοφλεβικών αναστομώνσεων σε όργανα όπως ο εγκέφαλος, το ήπαρ και ο σπλήνας (Pate and Birdsiong 1964, Hasegawa et al. 1967, Fries et al. 1957). Τέλος, η χορήγηση αγγειοδιασταλτικών φαρμάκων, πριν από την εμβολή με αέρα, μπορεί να συμβάλει στη διαφυγή αέρα από τη φλεβική προς την αρτηριακή κυκλοφορία (Souders 2000).

Η μέθοδος εκλογής, για τη διάγνωση της εμβολής με αέρα της φλεβικής κυκλοφορίας, είναι η χρήση του διοισοφάγιου υπερηχοτομογραφήματος με δυνατότητα εντόπισης ποσότητας αέρα έως 0,02ml/kg (Furuya et al. 1983). Την ίδια σχεδόν ευαισθησία παρουσιάζει και το προκάρδιο Doppler υπερηχοτομογράφημα με πλεονέκτημα το γεγονός ότι είναι καλύτερα ανεκτή από τον ασθενή και μπορεί να εντοπίσει, αν είναι καλά τοποθετημένο, ποσότητα έως 0,05 ml/kg (Chang et al. 1980). Άλλες διαγνωστικές μέθοδοι με μέτρια ευαισθησία είναι η μέτρηση του τελοεκπνευστικού διοξειδίου του άνθρακα (Drummond et al. 1985, Russell et al. 1990, Losasso et al. 1992) και η μέτρηση της πίεσης στην πνευμονική αρτηρία. Η μέτρηση της οξυγόνωσης του αίματος και η άμεση παρατήρηση του χειρουργικού πεδίου αποτελούν μεθόδους χαμηλής ευαισθησίας.

Προληπτικά η τοποθέτηση καθετήρα για τη μέτρηση της κεντρικής φλεβικής πίεσης μπορεί να συμβάλει στην αποφυγή της εμβολής με αέρα της φλεβι-

κής κυκλοφορίας (Toung et al. 1984). Θα πρέπει, επίσης, να διατηρείται θετική ή τελοεκπνευστική πίεση, η οποία αυξάνει την πίεση στο δεξιό κόλπο και προλαμβάνει την πρόκληση εμβολής από αέρα (Pearl and Larson 1986). Τέλος, σε περιπτώσεις ενδοκρανιακών επεμβάσεων θα πρέπει να ασκείται πίεση στις σφαγίτιδες φλέβες ώστε να αυξάνεται τεχνητά η εγκεφαλική πίεση (Toung et al. 1984).

Η θεραπεία περιλαμβάνει τον κατακλυσμό του χειρουργικού πεδίου με φυσιολογικό ορό και την αναρρόφηση του αέρα μέσω ενός κεντρικού φλεβικού καθετήρα, με σκοπό την απομάκρυνση έως και του 50% του αέρα που έχει παγιδευτεί μέσα στα μεγάλα φλεβικά στελέχη (Adornato et al. 1978). Επιπλέον, η θεραπευτική παρέμβαση πρέπει να περιλαμβάνει τη χορήγηση οξυγόνου σε ποσοστό 100%, καθώς και τη διακοπή της αναισθησίας και ιδίως τη χορήγηση του οξειδίου του αζώτου, στην περίπτωση που αυτό χορηγείται κατά τη διάρκεια της επέμβασης (Losasso et al. 1992), καθώς επίσης και τη χορήγηση, ενδοφλεβίως, κρυσταλλοειδών υγρών και ινοτρόπων φαρμάκων (Souders 2000).

Προκειμένου για το συγκεκριμένο περιστατικό, πιστεύουμε ότι η είσοδος του αέρα έγινε με αργό ρυθμό και για αρκετό χρονικό διάστημα, πιθανότατα από την αναισθητική συσκευή μέσω του πνευμονικού παρεγχύματος. Θεωρούμε ότι λόγω του γεγονότος ότι η δεξιά καρδιά, η πρόσθια και η οπίσθια κοίλη φλέβα, η πνευμονική αρτηρία και τα στεφανιαία αγγεία ήταν γεμάτα από φυσαλίδες αέρα, ο μηχανισμός εισόδου

του αέρα πρέπει να ήταν σε λειτουργία και μετά το θάνατο του ζώου, γιατί σε αντίθετη περίπτωση το ζώο θα έπρεπε να είχε καταλήξει νωρίτερα. Η αναισθητική μηχανή ήταν σε λειτουργία και μετά την κατάληξη του ζώου και η είσοδος του αέρα θα μπορούσε να παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια μηχανικού αερισμού των πνευμόνων (Marini and Culver 1989). Στο συγκεκριμένο περιστατικό πιθανολογούμε ότι μπορεί και να τραυματίστηκε το πνευμονικό παρέγχυμα λόγω αυξημένης πίεσης από την αναισθητική μηχανή κατά τη διάρκεια της αναισθησίας (Michel 1980).

Άλλος πιθανός μηχανισμός πρόκλησης εμβολής με αέρα στο συγκεκριμένο περιστατικό είναι ότι ο αέρας προήλθε από το σημείο της αναστόμωσης, το οποίο και λειτούργησε με τρόπο παρόμοιο αυτού της στοματικής κοιλότητας. Πιστεύουμε, όμως, ότι η εξήγηση αυτή είναι λιγότερο πιθανή, γιατί η σύγκλιση του χειρουργικού τραύματος επήλθε σε μικρό χρονικό διάστημα, εντός δέκα περίπου λεπτών, από την ολοκλήρωση της αναστόμωσης, και δεν θα ήταν εφικτή η είσοδος αυτής της ποσότητας αέρα μέσω της συγκεκριμένης οδού. Θα ήταν, επίσης, δυνατό να συμβεί και ο μη πλήρης αποκλεισμός της σφαγίτιδας κεντρικά κατά την αναστόμωση και να εισάγεται κατά τον τρόπο αυτό αέρας. Όμως, σε κάθε περίπτωση θα υπήρχε απώλεια αίματος στο χειρουργικό πεδίο, γεγονός που δεν συνέβη, καθώς επίσης και ότι η ποσότητα αέρα θα ήταν μικρότερη.

Συμπερασματικά, ο τρόπος εισόδου του αέρα στο συγκεκριμένο περιστατικό παραμένει άγνωστος. ■

## REFERENCES - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adornato DC, Gidenberg PL, Ferrario CM, Smart J, Frost EA (1978) Pathophysiology of intravenous air embolism in dogs. *Anesthesiology*, 49: 120-127.
- Albin MS, Carroll RG, Maroon JC (1978) Clinical considerations concerning detection of venous air embolism. *Neurosurgery*, 3:380-384.
- Albin MS, Ritter M, Pruetz CE, Kalf K (1991) Venous air embolism during lumbar laminectomy in the prone position: report of three cases. *Anesthesiology*, 66:346-349
- Boer WH and Hene RJ (1999) Lethal air embolism following removal of a double lumen jugular vein catheter. *Nephrol Dial Transplant*, 14:1850-1852.
- Bradbury LA, Archer DC, Dugdale AH, Senior JM, Edwards GB (2005) Suspected venous air embolism in a horse. *Vet Rec*, 156(4): 109-111.
- Buckland RW and Manners JM (1976) Venous air embolism during neurosurgery. A comparison of various methods of detection in man. *Anaesthesia*, 31: 633-643.
- Butler BD, Hills BA (1985) Transpulmonary passage of venous air emboli. *J Appl Physiol*, 59:543-547.
- Chang JL, Albin MS, Bunegin L, Hung TK (1980) Analysis and comparison of venous air embolism detection methods. *Neurosurgery*, 7; 135-141.
- Cockett AT, Pauley SM, Zehl DN, Pilmanis AA, Cockett WS (1979) Pathophysiology of bends and compression sickness; An overview with emphasis on treatment. *Arch Surg*, 114: 296-301.
- De la Torre E, Meredith J, Netsky MG, Winston-Salem (1962) Cerebral air embolism in the dog. *Arch Neurol*, 6:307-316.
- Deal CW, Barton P, Fielden F, Monk I (1971) Hemodynamic effects of pulmonary air embolism. *J Surg Res*, 11: 533-538.
- Derouin M, Couture P, Boudreault D, Girard D, Gravel D (1996) Detection of gas embolism by transesophageal echocardiography during laparoscopic cholecystectomy. *Anesth Analg*, 82:119-124.
- Drummond JC, Prutow RJ, Scheller MS (1985) A comparison of the sensitivity of pulmonary artery pressure, end-tidal carbon dioxide and end-tidal nitrogen in the detection of venous air embolism in

- the dog. *Anesth Analg*, 64:688-692.
- Durant TM, Long J, Oppenheimer MJ (1947) Pulmonary (venous) air embolism. *Am Heart J*, 33: 269-281.
- Fraker TD (1979) Detection and exclusion of interatrial shunts by two-dimensional echocardiography and peripheral venous injection. *Circulation*, 59:379-384.
- Fries CC, Levowitz B, Adler S, Cook AW, Karlson KE, Dennis C (1957) Experimental cerebral gas embolism. *Ann Surg*, 145:461-469.
- Furuya H, Suzuki T, Okumura F, Kishi Y, Uefuji T (1983) Detection of air embolism by transesophageal echocardiography. *Anesthesiology*, 58: 124-129.
- Gorman D, Mitchell S (1999) A history of cerebral arterial gas embolism research: key publications. *S Pacific Undersea Med Soc J*, 29: 145-156.
- Halliday P, Anderson DN, Davidson AI (1994) Management of cerebral air embolism secondary to a disconnected central venous catheter. *Br J Surg*, 81:71.
- Hasegawa T, Ravens JR, Toole JF (1967) Precapillary arteriovenous anastomoses: "thoroughfare channels" in the brain. *Arch Neurol*, 16:217-224.
- Hlastala MP, Robertson HT, Ross BK (1979) Gas exchange abnormalities produced by venous gas emboli. *Respiration*, 36: 1-17.
- Hybels RL (1980) Venous air embolism in head and neck surgery. *Laryngoscope*, 90:946-954.
- Isaacson KB (1999) Complications of hysteroscopy. *Obstet Gynecol Clin North Am*, 26:39-51.
- Lambert MJ (1982) Air embolism in central venous catheterization: diagnosis, treatment and prevention. *South Med J*, 75: 1189-1191.
- Lee JD and Roy TM (1995) Venous air embolism and the central venous catheter. *J Tennessee Med Assoc*, 88:51-53.
- Losasso TJ, Black S, Muzzi DA, Michenfelder JD, Cucchiara RF (1992) Detection and hemodynamic consequences of venous air embolism. Does nitrous oxide make a difference? *Anesthesiology*, 77:148-152.
- Losasso TJ, Muzzi DA, Dietz NM, Cucchiara RF (1992) Fifty percent nitrous oxide does not increase the risk of venous air embolism in neurosurgical patients operated upon the sitting position. *Anesthesiology*, 77:21-30.
- Marini JJ, Culver BH (1989) Systemic gas embolism complicating mechanical ventilation in the adult respiratory distress syndrome. *Ann Inter Med*, 110:699-703.
- McGrath BJ, Zimmerman JE, Williams JF, Parmet J (1989) Carbon dioxide embolism treated with hyperbaric oxygen. *Can J Anaesth*, 36:586-589.
- Michel R (1980) Air embolism in hip surgery. *Anaesthesia*, 35:858-862.
- Mitchell SJ, Benson M, Vadlamudi L, Miller P (2000) Cerebral arterial gas embolism by helium: an unusual case successfully treated with hyperbaric oxygen and lidocaine. *Ann Emerg Med*, 35:300-303.
- Murphy BP, Harford FJ, Cramer FS (1985) Cerebral air embolism resulting from invasive medical procedures: treatment with hyperbaric oxygen. *Ann Surg*, 201:242-245.
- Murray IP (1981) Complications of invasive monitoring. *Med Instrum*, 15:85-89.
- Muth CM, Shank ES (2000) Gas embolism. *New Engl J Med*, 342:476-482.
- Ober CP, Spotswood TC, Hancock R (2006) Fatal venous air embolism in a cat with a retropharyngeal diverticulum. *Vet Radiol Ultrasound*, 47(2): 153-158.
- Oyama Y, Spencer MP (1971) Cardiopulmonary effects of intravenous gas embolism; with special reference to fate of intravascular gas bubbles. *Jpn Circ J*, 35: 1541-1549.
- Palmon SC, Moore LE, Lundberg J, Toung T (1997) Venous air embolism: a review. *J Clin Anesthesia*, 9: 251-257.
- Papadopoulos G, Kuhly P, Brock M, Rudolph KH, Link J, Eyrich K (1994) Venous and paradoxical air embolism in the sitting position. A prospective study with transesophageal echocardiography. *Acta Neurochirurgica*, 126:140-143.
- Pate JW, Birdsong S (1964) Carotid air embolism: an experimental study in cats. *Arch Surg*, 89:685
- Paw P, Sackier JM (1994) Complications of laparoscopy and thoracoscopy. *J Intens Care Med*, 9:290-304.
- Pearl RG, Larson CP (1986) Hemodynamic effects of positive end-expiratory pressure during continuous venous air embolism in the dog. *Anesthesiology*, 64:724-729.
- Porter JM, Pidgeon C, Cunningham AJ (1999) The sitting position in neurosurgery; a critical appraisal. *Br J Anaesth*, 82: 117-128.
- Russell GB, Richard RB, Snider MT (1990) Detection of venous air embolism in dogs by emission spectrometry. *J Monit*, 6:18-23.
- Seidelin PH, Stolarek IH, Thompson AN (1987) Central venous catheterization and fatal air embolism. *Br J Hosp Med*, 38:438-439.
- Souders JE (2000) Pulmonary air embolism. *J Clin Monit*, 16:375-383.
- Thayer GW, Carrig CB, Evans AT (1980) Fatal venous air embolism associated with pneumocystography in a cat. *J Am Vet Med Assoc*, 176(7): 643-645.
- Thielen JB, Nyquist J (1991) Subclavian catheter removal: nursing implications to prevent air emboli. *J Intravenous Nurs*, 14:114-118.
- Tien IY and Drescher MJ (1999) Pulmonary venous air embolism following accidental patient laceration of hemodialysis catheter. *J Emerg Med*, 17: 847-850.
- Toung T, Ngeow YK, Long DL, Rogers MC (1984) Comparison of the effects of positive end-expiratory pressure and jugular venous compression on canine cerebral venous pressure. *Anesthesiology*, 61:169-172.
- Verstappen FT, Bernards JA, Kreuzer AF (1977) Effects of pulmonary gas embolism on circulation and respiration in the dog. II. Effects on respiration. *Pflugers Arch*, 368:599-604.
- Verstappen FT, Bernards JA, Kreuzer AF (1977) Effects of pulmonary gas embolism on circulation and respiration in the dog. I. Effects on respiration. *Pflugers Arch*, 368:89-96.
- Vik A, Brubakk AO, Hennessy TR, Jenssen BM, Ekker M, Slordahl SA (1990) Venous air embolism in swine: transport of gas bubbles through the pulmonary circulation. *J Appl Physiol*, 69:237-244.
- Walsh VP, Machon RG, Munday JS, Broome CJ (2005) Suspected fatal venous air embolism during anaesthesia in a Pomeranian dog with pulmonary calcification. *N Z Vet J*, 53(5): 359-362.