

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ REVIEW

Ο ρόλος του διοξειδίου του άνθρακα στην καρδιοαναπνευστική αναζωογόνηση

Η εφαρμογή καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης (ΚΑΡΠΑ) υψηλής ποιότητας θεωρείται ως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την επιβίωση και την τελική έκβαση των ασθενών μετά από καρδιακή ανακοπή. Η σημασία της παρακολούθησης των μεταβολών των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια ενός πλήρους αναπνευστικού κύκλου (καπνογραφία) για την αξιολόγηση της επάρκειας της εφαρμοζόμενης ΚΑΡΠΑ έχει επισημανθεί εδώ και αρκετές δεκαετίες, ενώ τα τελευταία έτη η εφαρμογή της έχει πλέον ενσωματωθεί στις κατευθυντήριες οδηγίες της εξειδικευμένης υποστήριξης της ζωής. Η παράμετρος της καπνογραφίας με τη μεγαλύτερη κλινική σημασία είναι η μερική πίεση του τελοεκπνευστικού διοξειδίου του άνθρακα (end-tidal CO_2 , EtCO_2), η οποία φαίνεται ότι συσχετίζεται άμεσα με την καρδιακή παροχή, την αιματική ροή στο μυοκάρδιο, την πίεση άρδευσης των στεφανιαίων αγγείων και την πίεση άρδευσης του εγκεφάλου. Η καπνογραφία παρέχει τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης των μεταβολών του EtCO_2 κατά τη διάρκεια της ΚΑΡΠΑ σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της ΚΑΡΠΑ οι τιμές του EtCO_2 παραμένουν σε χαμηλά όρια αντανακλώντας τη χαμηλή καρδιακή παροχή που επιτυγχάνεται με τις θωρακικές συμπίεσεις. Όσο καλύτερη είναι η ποιότητα των εφαρμοζόμενων θωρακικών συμπίεσεων, τόσο υψηλότερες είναι και οι λαμβανόμενες ενδείξεις. Η οξεία αύξηση των τιμών του EtCO_2 συνήθως σχετίζεται με την επάνοδο της αυτόματης κυκλοφορίας, καθώς η αύξηση της πνευμονικής κυκλοφορίας επαναφέρει μεγαλύτερη ποσότητα CO_2 στους πνεύμονες προκειμένου να αποβληθεί με την εκπνοή. Στα κλινικά πεδία, η τεκμηρίωση της αξία της καπνογραφίας προκύπτει από την επιβεβαίωση της σωστής ενδοτραχειακής διασωλήνωσης, την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΚΑΡΠΑ και την αναγνώριση της επανόδου της αυτόματης κυκλοφορίας, ενώ φαίνεται ότι σε συνδυασμό με άλλες κλινικές παραμέτρους μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως προγνωστικός δείκτης έκβασης της ΚΑΡΠΑ. Θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι οι τιμές του EtCO_2 κατά τη διάρκεια της ΚΑΡΠΑ δεν εξαρτώνται αποκλειστικά από την αποτελεσματικότητά της, αλλά επίσης από το πρωταρχικό αίτιο της καρδιακής ανακοπής, τον αρχικό ρυθμό, την ταχύτητα εφαρμογής της ΚΑΡΠΑ, την κόπωση του διασώστη και, τέλος, από τη χορήγηση ινοτρόπων/αγγειοδραστικών παραγόντων. Αδιαμφισβήτητα, η εφαρμογή της καπνογραφίας κατά τη διενέργεια της ΚΑΡΠΑ, τόσο σε προνοσοκομειακό όσο και σε νοσοκομειακό επίπεδο, αναμένεται να αποτελέσει μια καθιερωμένη πρακτική στο εγγύς μέλλον.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρά τις εντατικές προσπάθειες που διενεργούνται τα τελευταία έτη με σκοπό τη βελτίωση των δεικτών έκβασης των ασθενών μετά από καρδιακή ανακοπή, η πρόγνωση δυστυχώς παραμένει δυσμενής, καθώς μόνο το 20% των ασθενών που υφίστανται ενδονοσοκομειακή καρδιακή ανακοπή θα επιβιώσουν, ενώ το ποσοστό αυτό μειώνεται

δραματικά (<10%) όταν η ανακοπή συμβαίνει σε εξωνοσοκομειακό περιβάλλον. Και στις δύο όμως περιπτώσεις οι ασθενείς που επιβιώνουν, τελικά, εμφανίζουν σοβαρές νευρολογικές βλάβες, οι οποίες συντελούν στη δυσμενή λειτουργική τους έκβαση.^{1,2} Η εφαρμογή καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης (ΚΑΡΠΑ) υψηλής ποιότητας θεωρείται ως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την επιβίωση και την τελική έκβαση των

ΑΡΧΕΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ 2017, 34(5):605-614
ARCHIVES OF HELLENIC MEDICINE 2017, 34(5):605-614

Γ.Γ. Τσαούση

Κλινική Αναισθησιολογίας
και Μονάδα Εντατικής Θεραπείας,
Ιατρική Σχολή, Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Θεσσαλονίκη

The role of carbon dioxide during
cardiopulmonary resuscitation

Abstract at the end of the article

Λέξεις ευρετηρίου

Αυτόματη επάνοδος
της κυκλοφορίας
Καπνογραφία
Καπνομετρία
Καρδιακή ανακοπή
Καρδιοαναπνευστική
αναζωογόνηση (ΚΑΡΠΑ)
Τελοεκπνευστικό διοξείδιο
του άνθρακα

Υποβλήθηκε 17.10.2016
Εγκρίθηκε 29.10.2016

ασθενών οι οποίοι υφίστανται καρδιακή ανακοπή.¹ Κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχουν προταθεί διάφοροι δείκτες για την αξιολόγηση της ποιότητας της ΚΑΡΠΑ και, ειδικότερα, της αποτελεσματικότητας των θωρακικών συμπίεσεων, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η έκβαση των ασθενών.

2. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΠΝΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΖΩΟΓΟΝΗΣΗ

Η σημασία της καπνογραφίας για την αξιολόγηση της επάρκειας της εφαρμοζόμενης ΚΑΡΠΑ έχει επισημανθεί εδώ και αρκετά έτη. Η πρώτη αναφορά σχετικά με την παρακολούθηση του *τελοεκπνευστικού διοξειδίου του άνθρακα* (end-tidal carbon dioxide, EtCO₂) κατά τη διεξαγωγή της ΚΑΡΠΑ έγινε το 1978, όταν σε 3 ασθενείς που υπέστησαν καρδιακή ανακοπή παρατηρήθηκε ότι το EtCO₂ μειωνόταν όταν το άτομο που εφάρμοζε τις θωρακικές συμπίεσεις εκδήλωνε κόπωση, ενώ αυξανόταν σημαντικά κατά την επάνοδο της αυτόματης κυκλοφορίας του ασθενούς (return of spontaneous circulation, ROSC).^{3,4}

Μία δεκαετία αργότερα, το 1988, οι εν λόγω παρατηρήσεις επιβεβαιώθηκαν και σε πειραματικό μοντέλο, όπου διαπιστώθηκε ότι η παρακολούθηση του EtCO₂ κατά την εφαρμογή ΚΑΡΠΑ ήταν ενδεικτική της αποτελεσματικότητας των θωρακικών συμπίεσεων και της ROSC και έτσι οι συγγραφείς συμπέραναν ότι τα επίπεδα του EtCO₂ πιθανότατα μπορεί να αποτελέσουν έναν προγνωστικό δείκτη επιτυχίας της ΚΑΡΠΑ.⁴ Χρειάστηκε όμως να μεσολαβήσουν άλλες δύο δεκαετίες έως ότου αναγνωριστεί η σπουδαιότητα των συγκεκριμένων ευρημάτων και να ενσωματωθεί πλέον η καπνογραφία στις κατευθυντήριες οδηγίες της εξειδικευμένης υποστήριξης της ζωής.^{5,6} Δεδομένων των περιορισμών από την ανεπαρκή εκπαίδευση και τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού, φαίνεται ότι θα παρέλθουν μερικά χρόνια ακόμη έως ότου η εφαρμογή της καπνογραφίας ενσωματωθεί ως ρουτίνα κατά την εφαρμογή της ΚΑΡΠΑ.

Προκειμένου να αποσαφηνιστεί η κλινική θέση και η προγνωστική αξία του EtCO₂ κατά την αναζωογόνηση, καθώς και το εάν μπορεί να αποτελέσει κριτήριο για τη λήψη απόφασης τερματισμού της ΚΑΡΠΑ, είναι σκόπιμο να ανατρέξουμε στις βασικές αρχές της διακίνησης του διοξειδίου του άνθρακα στον οργανισμό, στις μεθόδους προσδιορισμού του, αλλά και στα κλινικά δεδομένα που υπάρχουν στο συγκεκριμένο πεδίο.

3. ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Το διοξείδιο του άνθρακα (carbon dioxide, CO₂) που παράγεται στους ιστούς ως τελικό προϊόν του αερόβιου

μεταβολισμού διαχέεται από τα ιστικά κύτταρα στη συστηματική αιματική κυκλοφορία, για να καταλήξει μέσω της φλεβικής επαναφοράς στους πνεύμονες. Όπως προκύπτει από την εξίσωση του κυψελιδικού αερισμού, τα επίπεδα της μερικής πίεσης του CO₂ στις κυψελίδες (alveolar partial pressure CO₂, P_ACO₂) αντανakλούν τον ιστικό μεταβολισμό, την ιστική και την πνευμονική άρδευση, καθώς και τον κυψελιδικό αερισμό (εικ. 1).⁷

Το EtCO₂, που συνιστά τη μερική πίεση του CO₂ στο τέλος της εκπνοής, φαίνεται ότι συσχετίζεται άμεσα με την καρδιακή παροχή, την αιματική ροή στο μυοκάρδιο, την πίεση άρδευσης των στεφανιαίων αγγείων και την πίεση άρδευσης του εγκεφάλου.⁴ Επίσης, παρέχει ενδείξεις σχετικά με τον αερισμό και τον ιστικό μεταβολισμό.⁵ Η εφαρμογή της καπνογραφίας κατά την ΚΑΡΠΑ βασίζεται στην ακόλουθη αρχή: «Σε οξείες καταστάσεις και σε συνθήκες σταθερού αερισμού, το EtCO₂ αντανakλά την καρδιακή παροχή, η οποία πρακτικά είναι ίση με την άρδευση της πνευμονικής κυκλοφορίας».

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΕΚΠΝΕΟΜΕΝΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

4.1. Τεχνολογία

Οι μέθοδοι προσδιορισμού του EtCO₂ στον εκπνεόμενο αέρα με την ευρύτερη κλινική εφαρμογή είναι (α) οι *χρωματογραφικοί ανιχνευτές του CO₂* και (β) η *τεχνολογία της υπέρυθρης φασματοσκοπίας*.

4.1.1. Χρωματογραφικοί ανιχνευτές CO₂. Οι χρωματομετρικοί ανιχνευτές είναι αναλώσιμες συσκευές που συνδέονται απ' ευθείας με τον ενδοτραχειακό σωλήνα. Περιέχουν μια λωρίδα εμποτισμένη με χημικό υλικό ευαίσθητο στις μεταβολές του pH, το οποίο αντιδρά αναστρέψιμα με το CO₂, παρέχοντας μια αδρή εκτίμηση των επιπέδων του CO₂ στον εκπνεόμενο αέρα.^{2,8} Σε πολύ χαμηλά επίπεδα εκπνεόμενου CO₂ (<0,03–0,5%), όπως για παράδειγμα στον

$$P_A CO_2 = k \times V \cdot CO_2 \times V \cdot A = k \times Q/V \cdot A \times (CVCO_2 - CCCC_2)$$

όπου:
k = σταθερά
*V*CO₂ = το αποβαλλόμενο CO₂ (= παραγόμενο CO₂ υπό σταθερές συνθήκες)
Q = πνευμονική αιματική ροή
*V*A = κυψελιδικός αερισμός
CV-CO₂ = συγκέντρωση του συνολικού CO₂ στο μικτό φλεβικό αίμα
*CCCC*₂ = συγκέντρωση του συνολικού CO₂ στο αίμα των τελικών πνευμονικών τριχοειδών

Εικόνα 1. Εξίσωση του κυψελιδικού αερισμού και παράμετροι που επηρεάζουν τη μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα στις κυψελίδες (carbon dioxide alveolar partial pressure, P_ACO₂).

ατμοσφαιρικό αέρα, ο ανιχνευτής λαμβάνει *ιώδη (μοβ)* απόχρωση. Σε υψηλότερα επίπεδα εκπνεόμενου CO₂ (2–5%) που αντανακλούν τον κυψελιδικό αέρα, ο ανιχνευτής γίνεται *κίτρινος*, ενώ σε επίπεδα εκπνεόμενου CO₂ χαμηλότερα από εκείνα του κυψελιδικού αέρα ο αισθητήρας λαμβάνει *καφεοειδές χρώμα*.^{2,7,8} Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης χρωματομετρικής μεθόδου θα πρέπει να αξιολογούνται μόνο μετά την ολοκλήρωση *έξι* τουλάχιστον αναπνευστικών κύκλων. Στην περίπτωση κατά την οποία οι ενδείξεις του χρωματομετρικού αισθητήρα δεν είναι σαφείς, τότε θα πρέπει να μεσολαβήσουν *έξι επί πλέον* αναπνευστικοί κύκλοι. Το ενδεχόμενο πρόκλησης γαστρικής διάτασης, εμέτου και εισρόφησης εξ αιτίας της εφαρμογής των *έξι* αναπνευστικών προσπαθειών, σε περίπτωση ατυχηματικής τοποθέτησης του ενδοτραχειακού σωλήνα στον οισοφάγο, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη.⁹

Ο αισθητήρας των ενηλίκων έχει νεκρό χώρο 38 mL, στοιχείο που αποκλείει την εφαρμογή του σε νεογνά, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια σε ασθενείς σωματικού βάρους >2 kg.¹⁰ Σε νεογνά μέχρι 1 kg μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παιδιατρικός αισθητήρας, που έχει νεκρό χώρο μόλις 3 mL.¹¹ Τα πλεονεκτήματα των χρωματογραφικών συσκευών είναι ότι έχουν ελάχιστο βάρος και δεν χρειάζονται βαθμονόμηση ή συσσωρευτές (μπαταρίες). Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνονται η αδυναμία ανάγνωσης των ενδείξεων σε χαμηλό φωτισμό, η αδυναμία λήψης ενδείξεων σε περιπτώσεις κατάληψης του αισθητήρα με αίμα ή γαστρικά υγρά και το γεγονός ότι δεν παρέχουν κάποια ένδειξη της ποιότητας του αερισμού.⁷

4.1.2. Τεχνολογία υπέρυθρης φασματοσκοπίας. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην *ιδιότητα του υπέρυθρου φωτός να απορροφάται μόνο από το CO₂ και τους υδρατμούς* που υπάρχουν στον εκπνεόμενο αέρα. Οι υδρατμοί απομακρύνονται με αφύγρανση του εκπνεόμενου αέρα, ενώ στη μονάδα του αισθητήρα η εκπεμπόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία φιλτράρεται προκειμένου να διέλθει μόνο η ακτινοβολία που αντιστοιχεί στο μήκος κύματος όπου επιτυγχάνεται η μέγιστη απορρόφηση του CO₂. Η ποσότητα του αερίου που απορροφάται στο μήκος κύματος του CO₂ συγκρίνεται με γνωστή συγκέντρωση CO₂ σε ένα δείγμα αναφοράς και έτσι προσδιορίζεται η μερική πίεση του CO₂ (partial pressure CO₂, PCO₂) στο εξεταζόμενο δείγμα εκπνεόμενου αέρα.^{7,12}

4.2. Τύποι ανιχνευτών διοξειδίου του άνθρακα

4.2.1. Διάταξη του ανιχνευτή στο αναπνευστικό κύκλωμα. Λαμβάνοντας υπ' όψη τη διάταξη τοποθέτησής τους στο αναπνευστικό κύκλωμα, οι ανιχνευτές του CO₂ διακρίνονται σε *κύριου και παράπλευρου καναλιού*.

Στους αισθητήρες του κύριου καναλιού, ένας μικρού βάρους αισθητήρας προσαρμόζεται μεταξύ του ενδοτραχειακού σωλήνα και του αναπνευστικού κυκλώματος. Κατά τη διάρκεια του αναπνευστικού κύκλου, τα εκπνεόμενα αέρια διέρχονται μέσω του αισθητήρα και το ποσό του CO₂ μετράται άμεσα χωρίς κάποια χρονική καθυστέρηση. Επί πλέον, καθώς ο αισθητήρας θερμαίνεται επιτυγχάνεται θερμοκρασία υψηλότερη από αυτή του σώματος του ασθενούς, στοιχείο που παρεμποδίζει τον σχηματισμό υδρατμών και τη δυσλειτουργία του αισθητήρα.^{9,12} Η σύγχρονη τεχνολογία περιλαμβάνει αισθητήρες κύριου καναλιού οι οποίοι είναι μικρότεροι σε μέγεθος και βάρος, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε μη διασωληνωμένους ασθενείς. Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να προσαρμοστούν είτε σε ρινική κάνουλα χορήγησης οξυγόνου είτε σε προσωπίδα, καθιστώντας εφικτή την παρακολούθηση του CO₂ σε ασθενείς οι οποίοι βρίσκονται σε συνθήκες καταστολής και διατηρούν αυτόματη αναπνοή.

Η καπνογραφία παράπλευρου καναλιού είναι η πλέον ευρεία σε χρήση μέθοδος της συνεχούς παρακολούθησης του CO₂. Οι αισθητήρες παράπλευρου καναλιού διαθέτουν έναν αισθητήρα που είναι τοποθετημένος επάνω στη συσκευή παρακολούθησης.^{2,7} Στη συγκεκριμένη τεχνολογία εξασκείται δειγματοληψία των εκπνεόμενων αερίων μέσω ενός υποδοχέα και ενός σωλήνα μήκους 5–6 m και το δείγμα των αερίων μεταφέρεται στη συσκευή παρακολούθησης των μεταβολών του CO₂ στην οποία έχει ενσωματωθεί ο αισθητήρας υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η εν λόγω διάταξη ευθύνεται για μια χρονική υστέρηση 1–4 sec στην καταγραφή των αριθμητικών ενδείξεων και στη λήψη της κυματομορφής της καπνογραφίας.^{7,12} Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της καπνογραφίας του παράπλευρου καναλιού είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί και σε μη διασωληνωμένους ασθενείς. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν τροποποιημένες ρινικές κάνουλες που επιτρέπουν τη δειγματοληψία των εκπνεόμενων αερίων ακόμη και κατά τη χορήγηση συμπληρωματικού οξυγόνου. Ένα βασικό μειονέκτημα της καπνογραφίας παράπλευρου καναλιού είναι η ενδεχόμενη απόφραξη του σωλήνα δειγματοληψίας από υδρατμούς ή εκκρίσεις. Η τοποθέτηση ενός φίλτρου μεταξύ του σωλήνα και του αισθητήρα, καθώς επίσης η διατήρηση του σωλήνα δειγματοληψίας υψηλότερα από το επίπεδο του ασθενούς, μπορεί να ελαχιστοποιήσουν την εισροή υδρατμών και εκκρίσεων.¹²

4.2.2. Είδος λαμβανόμενων ενδείξεων. Οι συσκευές παρακολούθησης του EtCO₂ διακρίνονται στην *ποιοτική και στην ποσοτική καπνομετρία*, καθώς και στην *ποσοτική καπνογραφία*.

Οι αισθητήρες της ποιοτικής καπνομετρίας συνήθως

είναι χρωματομετρικοί ανιχνευτές. Η διαγνωστική ακρίβεια των χρωματογραφικών συσκευών όσον αφορά στη σωστή τοποθέτηση του ενδοτραχειακού σωλήνα, όπως αυτή αξιολογήθηκε από 7 μελέτες παρατήρησης σε σύνολο 1.119 ασθενών οι οποίοι υπέστησαν καρδιακή ανακοπή, έδειξε ότι η ειδικότητά τους ανέρχεται στο 97% και η ευαισθησία στο 87%, ενώ το ποσοστό των ψευδώς θετικών ενδείξεων κυμαίνεται από 0,3–1%.^{9,13–18} Παρ' όλο που η αξιοπιστία των χρωματογραφικών ανιχνευτών του CO₂ σε ασθενείς με επαρκή συστηματική άρδευση θεωρείται αρκετά ικανοποιητική, φαίνεται ότι περιορίζεται σημαντικά σε συνθήκες καρδιακής ανακοπής, καθώς σε καταστάσεις περιορισμένης πνευμονικής αιματικής ροής η συγκέντρωση του EtCO₂ είναι εξαιρετικά χαμηλή.

Οι ψηφιακές καπνομετρικές συσκευές μετρούν τη συγκέντρωση του EtCO₂ χρησιμοποιώντας ένα φασματοφωτόμετρο υπέρυθρης ακτινοβολίας και παρέχουν αριθμητικές μετρήσεις χωρίς όμως να απεικονίζουν την κυματομορφή του καπνογραφήματος (ποσοτική καπνομετρία). Συνήθως πρόκειται για ανθεκτικής κατασκευής, μικρές, φορητές συσκευές, οι οποίες διαθέτουν μπαταρίες μακράς διάρκειας, χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για τη χρήση τους σε προνοσοκομειακό περιβάλλον. Από κλινικές μετρήσεις φαίνεται ότι η ευαισθησία και η ειδικότητα των συγκεκριμένων συσκευών για την ανίχνευση της ενδοτραχειακής διασωλήνωσης σε συνθήκες καρδιακής ανακοπής είναι εξαιρετικά ικανοποιητικές (88% και 100%, αντίστοιχα).⁸

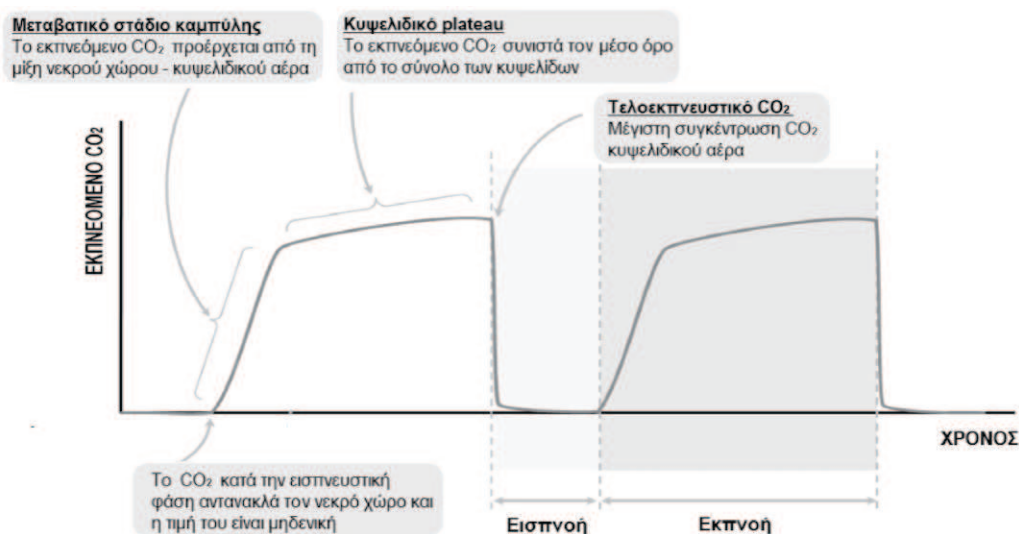
Η ποσοτική καπνογραφία συνδυάζει τη μέτρηση του CO₂ με την ταυτόχρονη λήψη της κυματομορφής του καπνογραφήματος και συνιστά την πλέον αξιόπιστη μέθοδο αξιολόγησης της σωστής τοποθέτησης του ενδοτραχειακού σωλήνα,

με σαφή υπεροχή έναντι των καπνομετρικών μεθόδων, η ακρίβεια των οποίων δεν φαίνεται να υπερέχει σημαντικά έναντι της κλινικής αξιολόγησης.^{19,20} Συνήθως πρόκειται για εξειδικευμένες και αξιόπιστες συσκευές παρακολούθησης του εκπνεόμενου CO₂. Θα πρέπει να επισημανθεί όμως ότι οι πλέον σύγχρονες συσκευές ποσοτικής καπνομετρίας έχουν ενσωματώσει τη δυνατότητα παρακολούθησης και της κυματομορφής του καπνογραφήματος. Η καπνογραφία συνήθως εφαρμόζεται σε διασωληνωμένους ασθενείς όπου οι λαμβανόμενες ενδείξεις είναι οι πλέον αξιόπιστες, αλλά δεν αποκλείεται η χρήση της και σε ασθενείς που αερίζονται είτε με υπεργλωττιδική συσκευή είτε με προσωπίδα και αυτοδιατεινόμενο ασκό (ambu).

5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥ ΚΑΠΝΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

Η καταγραφή της συγκέντρωσης του CO₂ στον εκπνεόμενο αέρα μπορεί να πραγματοποιηθεί σε συνάρτηση είτε με τον χρόνο είτε με τον όγκο του εκπνεόμενου αέρα. Αν και οι περισσότεροι καπνογράφοι που χρησιμοποιούνται στην κλινική πράξη δείχνουν τις μεταβολές της μερικής πίεσης του CO₂ σε συνάρτηση με τον χρόνο, οι πληροφορίες που λαμβάνονται από την κυματομορφή σε συνάρτηση με τον όγκο κρίνονται ως ιδιαίτερα σημαντικές.²⁷ Η ογκομετρική καπνογραφία όμως απαιτεί περισσότερο εξειδικευμένο εξοπλισμό, στοιχείο που περιορίζει την ευρεία εφαρμογή της.¹²

Το καπνογράφημα σε συνάρτηση με τον χρόνο δείχνει τις μεταβολές του CO₂ κατά τη χρονική διάρκεια ενός πλήρους αναπνευστικού κύκλου και διακρίνεται σε εισπνευστική και εκπνευστική φάση (εικ. 2). Το εκπνεόμενο PCO₂ παραμένει μηδενικό σε όλη τη διάρκεια της εισπνοής. Στην αρχή της



Εικόνα 2. Τυπική μορφή καπνογραφήματος.

εκπνοής παραμένει μηδενικό λόγω της επίδρασης του αέρα που βρίσκεται στον ανατομικό νεκρό χώρο. Στη συνέχεια αυξάνεται ραγδαία, καθώς ο κυψελιδικός αέρας αρχίζει να αναμιγνύεται με τον νεκρό χώρο. Κατά το μεγαλύτερο διάστημα της εκπνοής η καμπύλη επιπεδώνεται (plateau), αντανακλώντας τον κυψελιδικό αέρα. Η τιμή που λαμβάνεται κατά το τέλος της επιπεδωμένης καμπύλης αντιστοιχεί στη μερική πίεση του EtCO₂ (partial pressure EtCO₂, PetCO₂) και αντανακλά τον μικτό κυψελιδικό αέρα. Η PetCO₂ αποτελεί δείκτη της σχέσης αερισμού/αιμάτωσης (V/Q). Η ανομοιογένεια των πνευμόνων δημιουργεί τοπικές διαφορές στη συγκέντρωση του CO₂, με συνέπεια ο αέρας από τις περιοχές με υψηλή σχέση V/Q να εμφανίζεται πρώτος στον ανώτερο αεραγωγό κατά την εκπνοή (μικρότερη συγκέντρωση CO₂). Η διαδοχική κένωση συμβάλλει στην αύξηση του κυψελιδικού plateau (ο αέρας ο οποίος εκπνέεται από περιοχές όπου έχει γίνει εκτεταμένη ανταλλαγή αερίων περιέχει περισσότερο CO₂). Όσο εντονότερη είναι η ανομοιογένεια στη σχέση V/Q, τόσο πιο απότομη είναι η κλίση του καπνογραφήματος. Στη συνέχεια, η μερική πίεση του εκπνεόμενου PCO₂ μειώνεται σταδιακά και μηδενίζεται πριν από την έναρξη της εισπνοής.²

6. MONITORING ETCO₂ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΑΖΩΟΓΟΝΗΣΗ

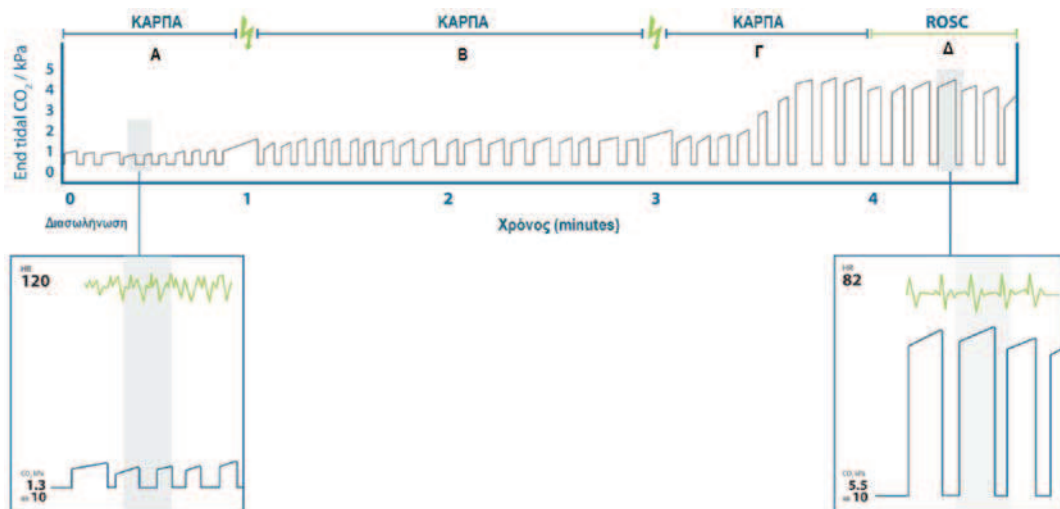
Οι αναγκαίες κλινικές πληροφορίες για την αποτελεσματικότητα της ΚΑΡΠΑ με βάση τα δεδομένα της καπνομετρίας/καπνογραφίας αντλούνται πρακτικά από τον συνδυασμό της μορφής του καπνογραφήματος, της αριθμητικής τιμής της PetCO₂ και της διαφοράς μεταξύ αρτηριακού και τελοεκπνευστικού CO₂ [P(a-et)CO₂].

6.1. Μεταβολές καπνογραφήματος

Η καπνογραφία παρέχει τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης των μεταβολών του EtCO₂ κατά τη διάρκεια της ΚΑΡΠΑ σε πραγματικό χρόνο (εικ. 3). Κατά την καρδιοαναπνευστική ανακοπή καταγράφεται οξεία πτώση των επιπέδων του EtCO₂ σε σχεδόν μηδενικά επίπεδα, εξ αιτίας της μειωμένης διακίνησης του CO₂ από τους ιστούς προς την πνευμονική κυκλοφορία. Κατά τη διάρκεια της ΚΑΡΠΑ, οι τιμές του EtCO₂ παραμένουν σε χαμηλά όρια αντανακλώντας τη χαμηλή καρδιακή παροχή που επιτυγχάνεται με τις θωρακικές συμπίεσεις (Α). Όσο καλύτερη είναι η ποιότητα των εφαρμοζόμενων θωρακικών συμπίεσεων τόσο υψηλότερες είναι και οι λαμβανόμενες ενδείξεις (Β και Γ). Η οξεία αύξηση των τιμών της EtCO₂ συνήθως σχετίζεται με επάνοδο της αυτόματης κυκλοφορίας, καθώς η αύξηση της πνευμονικής κυκλοφορίας επαναφέρει μεγαλύτερη ποσότητα CO₂ στους πνεύμονες προκειμένου να αποβληθεί με την εκπνοή (Δ). Συχνά αυτό συμβαίνει πριν από την ανίχνευση ψηλαφητού σφυγμού στην περιφέρεια ή την επάνοδο της αρτηριακής πίεσης.²¹

6.2. Μεταβολές P(a-et)CO₂ κατά την καρδιοαναπνευστική αναζωογόνηση

Όταν η σχέση αερισμού/αιμάτωσης (V/Q) είναι φυσιολογική, η συσχέτιση της μερικής πίεσης του CO₂ στο αρτηριακό αίμα (PaCO₂) και της PetCO₂ είναι εξαιρετική. Όταν η σχέση V/Q είναι υψηλή, η PetCO₂ είναι σημαντικά μικρότερη από την PaCO₂, ενώ όταν είναι χαμηλή η PetCO₂ προσεγγίζει την PaCO₂ του μικτού φλεβικού αίματος. Η τιμή της P(a-et)CO₂ σε φυσιολογικά άτομα είναι περίπου 1–2 mmHg, ενώ σε



Εικόνα 3. Μεταβολές του καπνογραφήματος και των λαμβανόμενων τιμών του τελοεκπνευστικού διοξειδίου του άνθρακα (EtCO₂) σε διαφορετικές φάσεις της καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης (ΚΑΡΠΑ) και κατά την αυτόματη ανάκτηση της κυκλοφορίας (ROSC).²¹

διασωληνωμένους ή βαρέως πάσχοντες ασθενείς διαφορά μέχρι και 5–6 mmHg θεωρείται αποδεκτή. Όπως προκύπτει από σχετικές κλινικές μελέτες, η P(a-et)CO₂ συνιστά δείκτη με υψηλή προγνωστική αξία ως προς την έκβαση ασθενών με καρδιακή ανακοπή. Πιο συγκεκριμένα, όπως προέκυψε από μελέτη σε ασθενείς οι οποίοι υπέστησαν καρδιακή ανακοπή και παρουσίασαν ROSC μετά την εφαρμογή ΚΑΡΠΑ στο τμήμα επειγόντων περιστατικών (ΤΕΠ), η πιθανότητα δυσμενούς έκβασης κατά τη νοσηλεία στο νοσοκομείο ήταν υψηλότερη σε όσους καταγράφηκαν τιμές P(a-et)CO₂ ≥ 12,5 mmHg, σε συνδυασμό με επίπεδα γαλακτικού οξέος στο αίμα ≥ 10 mmol/L και λόγω νεκρού/αναπνεόμενου όγκου αέρα ≥ 0,348.²²

7. ΠΕΔΙΑ ΚΛΙΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΚΑΠΝΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΑΖΩΟΓΟΝΗΣΗ

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Αναζωογόνησης (European Resuscitation Council, ERC) του 2015,²¹ η αξία της καπνογραφίας σε συνθήκες ΚΑΡΠΑ τεκμηριώνεται στα παρακάτω κλινικά πεδία:

7.2. Επιβεβαίωση της σωστής ενδοτραχειακής διασωλήνωσης

Η πιθανότητα μη αναγνώρισης ατυχηματικής τοποθέτησης ενός τραχειοσωλήνα στον οισοφάγο σε ασθενείς που έχουν υποστεί εξωνοσοκομειακή καρδιακή ανακοπή κυμαίνεται από 0,5% (ιατροί επειγόντων) έως 17% (διασώστες).²³ Η καπνογραφία συνιστά την πλέον ευαίσθητη και ειδική μέθοδο της επιβεβαίωσης της σωστής ενδοτραχειακής διασωλήνωσης και θα πρέπει να συναξιολογείται πάντα με την ακρόαση των πνευμόνων και την άμεση επισκόπηση της διόδου του ενδοτραχειακού σωλήνα διά μέσου των φωνητικών χορδών. Η σταθερή λήψη κυματομορφής του εκπνεόμενου CO₂ (>30 mmHg) επιβεβαιώνει την τοποθέτηση του ενδοτραχειακού σωλήνα στην τραχεία (χωρίς όμως να αποκλείεται και η τοποθέτησή του στον φάρυγγα). Στην περίπτωση της ατυχηματικής διασωλήνωσης του οισοφάγου θεωρείται «μέθοδος αναφοράς» (“gold standard”), με ειδικότητα 100% (95% CI [confidence interval]: 87–100%) για την ανίχνευση της σωστής τοποθέτησης του ενδοτραχειακού σωλήνα.²¹ Μάλιστα, από τη συσχέτιση της καπνογραφίας με άλλες μεθόδους ανίχνευσης του εκπνεόμενου CO₂ προκύπτει ότι η καπνογραφία μπορεί να μειώσει τη μη ανίχνευση ατυχηματικής διασωλήνωσης του οισοφάγου κατά την άφιξη στο νοσοκομείο από 23% στο 0%.²⁰ Αρχικά, ενδέχεται να λαμβάνεται κυματομορφή εκπνεόμενου CO₂, η οποία όμως σταδιακά (συνήθως έπειτα από τρεις

αναπνευστικούς κύκλους) εξαφανίζεται καθώς σταματά η αποβολή του CO₂ που περιέχεται στον στόμαχο. Βέβαια, δεν συνιστά επαρκή δείκτη για την τεκμηρίωση της σωστής θέσης του σωλήνα εντός της τραχείας και τον αποκλεισμό της πιθανότητας ενδοβρογχικής τοποθέτησής του, για την οποία απαιτείται προσεκτική ακρόαση των πνευμονικών πεδίων. Η εφαρμογή της καπνογραφίας σε προνοσοκομειακό επίπεδο άμεσα μετά τη διασωλήνωση χαρακτηρίζεται από ευαισθησία 100%, ενώ ατυχηματική διασωλήνωση του οισοφάγου καταγράφεται σε συχνότητα μικρότερη από τη συνηθισμένη (1,5% έναντι 4,5%).^{10,24} Η ευαισθησία της μεθόδου φαίνεται ότι είναι σημαντικά μικρότερη (65–68%) όταν η καπνογραφία εφαρμόζεται μετά τη διασωλήνωση στο ΤΕΠ ασθενών που έχουν υποστεί εξωνοσοκομειακή καρδιακή ανακοπή (out-of-hospital cardiac arrests, OHCA).^{24,25} Η σχετική απόκλιση μπορεί να αιτιολογηθεί από την παρατεταμένη αναζωογόνηση υπό συνθήκες επιβαρυνμένης ή ανύπαρκτης πνευμονικής αιματικής ροής. Παρομοίως με τον υπόλοιπο πληθυσμό βαρέως πασχόντων ασθενών, έτσι και σε αυτούς που υφίστανται καρδιοαναπνευστική ανακοπή η διαγνωστική ακρίβεια των χρωματογραφικών ανιχνευτών του CO₂ και των συσκευών καπνομετρίας για την επιβεβαίωση της σωστής ενδοτραχειακής διασωλήνωσης δεν υπερβαίνει την ακρίβεια της άμεσης επισκόπησης και της αμφοτερόπλευρης ακρόασης των πνευμονικών πεδίων.²¹ Στις πλέον πρόσφατες κατευθυντήριες οδηγίες (2015), το ERC,²¹ η Αμερικανική Ένωση Καρδιολογίας,²⁶ αλλά και η International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) ALS Task Force²¹ συστήνουν τη χρήση της καπνογραφίας για την επιβεβαίωση της σωστής τοποθέτησης του ενδοτραχειακού σωλήνα κατά τη διάρκεια της ΚΑΡΠΑ, τόσο σε προνοσοκομειακό όσο και σε νοσοκομειακό επίπεδο, σε συνδυασμό με την κλινική αξιολόγηση (κατηγορία I, επίπεδο ένδειξης C-LD), ενώ σε περιπτώσεις όπου η καπνογραφία δεν είναι διαθέσιμη συστήνεται εναλλακτικά η εφαρμογή ενός ανιχνευτή διοξειδίου του άνθρακα επιπρόσθετα προς την κλινική εκτίμηση (κατηγορία IIa, επίπεδο ένδειξης C-LD).

7.3. Αξιολόγηση της ποιότητας της καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης

Οι τιμές του EtCO₂ σχετίζονται άμεσα με το βάθος των θωρακικών συμπιέσεων και τη συχνότητα των αναπνοών και γι' αυτόν τον λόγο η ποσοτική καπνογραφία προτείνεται ως μέθοδος αξιολόγησης της ποιότητας της ΚΑΡΠΑ (κατηγορία IIb, επίπεδο ένδειξης C).²¹ Πιο συγκεκριμένα, από μια πολυκεντρική μελέτη σε σύνολο 583 OHCA ασθενών προέκυψε ότι για κάθε 10 mm αύξηση του βάθους των θωρακικών συμπιέσεων η PetCO₂ αυξάνεται περίπου κατά 1,4 mmHg, ενώ για αύξηση της συχνότητας αερισμού

κατά 10 αναπνοές/min η PetCO₂ μειώνεται περίπου κατά 3 mmHg.²⁷ Στους ασθενείς με ROSC καταγράφηκαν επίπεδα PetCO₂ σημαντικά υψηλότερα σε σύγκριση με εκείνους στους οποίους δεν υπήρξε ανάκτηση της κυκλοφορίας (34,5 mmHg έναντι 23,1 mmHg).²⁷ Η σχέση της ποιότητας της ΚΑΡΠΑ με τα επίπεδα του EtCO₂ αξιολογήθηκε επίσης σε μια μελέτη παρατήρησης που διενεργήθηκε από δύο διαφορετικά συστήματα προνοσοκομειακής αντιμετώπισης επειγόντων περιστατικών. Όπως προέκυψε από την ανάλυση των δεδομένων σε ένα σύνολο 1.217 περιστατικών με ΟΗCA, η αύξηση του βάθους των θωρακικών συμπίεσεων κατά 10 mm συνοδεύτηκε από αύξηση του EtCO₂ κατά 4%, η αύξηση της συχνότητας των θωρακικών συμπίεσεων κατά 10 συμπίεσεις/min με αύξηση του EtCO₂ κατά 1,7%, ενώ η αύξηση της συχνότητας των αναπνοών κατά 10 αναπνοές/min συνοδεύτηκε από μείωση του EtCO₂ κατά 17,4% (η οποία προκαλεί αγγειοσύσπαση στην εγκεφαλική κυκλοφορία).¹

7.4. Αναγνώριση της ROSC

Μια οξεία αύξηση της τιμής του EtCO₂ σε σχεδόν φυσιολογικά επίπεδα κατά τη διάρκεια της ΚΑΡΠΑ ενδεχομένως είναι ενδεικτική ROSC (κατηγορία IIa, επίπεδο ένδειξης Β).^{2,4,21} Μια πρόσφατη συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση σε σύνολο 27 μελετών έδειξε ότι η μέση διαφορά της συγκέντρωσης της PetCO₂ μεταξύ των ασθενών με και χωρίς ROSC ήταν 12,7 mmHg (ROSC 25,8±9,8 mmHg έναντι μη ROSC 13,1±8,2 mmHg, p<0,001).²⁸ Τα ευρήματα αυτά υποδεικνύουν ότι η μέση τιμή της PetCO₂ σε ασθενείς με ROSC πιθανότατα είναι σημαντικά υψηλότερη από το κρίσιμο όριο των 10–20 mmHg, που θεωρείται αναγκαίο για να εκληφθούν οι θωρακικές συμπίεσεις ως αποτελεσματικές.^{1,2}

7.5. Προγνωστικός δείκτης έκβασης της καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης

Η διατήρηση του EtCO₂ σε επίπεδα <15 mmHg έπειτα από 20 min θεωρείται δείκτης δυσμενούς πρόγνωσης των ασθενών.²⁹ Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της Αμερικανικής Ένωσης Καρδιολογίας του 2015,²⁶ σε διασωληνωμένους ασθενείς η αποτυχία επίτευξης τιμής EtCO₂ >10 mmHg έπειτα από 20 min από την έναρξη της ΚΑΡΠΑ μπορεί να αξιολογηθεί στο πλαίσιο μιας πολυπαραγοντικής προσέγγισης για τη λήψη της απόφασης τερματισμού της προσπάθειας αναζωογόνησης (κατηγορία IIa, επίπεδο ένδειξης C-LD). Σε καμιά περίπτωση όμως δεν μπορεί να αποτελέσει αποκλειστικό κριτήριο τερματισμού της ΚΑΡΠΑ. Σε μη διασωληνωμένους ασθενείς, μια συγκεκριμένη τιμή EtCO₂ οποιαδήποτε χρονική στιγμή κατά τη διεξαγωγή της

ΚΑΡΠΑ δεν θα πρέπει σε καμιά περίπτωση να χρησιμοποιείται για τη λήψη απόφασης τερματισμού της ΚΑΡΠΑ (κατηγορία III, επίπεδο ένδειξης C-EO).

8. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ ETCO₂ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΑΖΩΟΓΟΝΗΣΗ

Παρά το γεγονός ότι στους ασθενείς με ROSC καταγράφονται σημαντικά υψηλότερα επίπεδα EtCO₂ σε σύγκριση με εκείνους με ανεπιτυχή επάνοδο της κυκλοφορίας, η προγνωστική αξία των επιπέδων του EtCO₂ κατά τη διάρκεια της ΚΑΡΠΑ είναι πρακτικά δύσκολο να διακριβωθεί. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι οι τιμές του EtCO₂ κατά τη διάρκεια της ΚΑΡΠΑ δεν εξαρτώνται αποκλειστικά από την αποτελεσματικότητά της, αλλά επίσης από (α) το πρωταρχικό αίτιο της καρδιακής ανακοπής, (β) τον αρχικό ρυθμό, (γ) την ταχύτητα εφαρμογής της ΚΑΡΠΑ και την κόπωση του διασώστη και (δ) τη χορήγηση ινοτρόπων/αγγειοδραστικών παραγόντων.

8.1. Αίτιο ανακοπής

Από πειραματικά αλλά και κλινικά δεδομένα τεκμηριώνεται ότι στις περιπτώσεις όπου η ανακοπή αποδίδεται σε αναπνευστικό αίτιο τα αρχικά επίπεδα της PetCO₂ μετά την ανάκτηση της κυκλοφορίας είναι σημαντικά υψηλότερα, σε σύγκριση με τις περιπτώσεις όπου το αίτιο της ανακοπής είναι καρδιολογικό.^{2,30,31} Η εν λόγω διαφορά διευρύνεται ακόμη περισσότερο όταν η ανακοπή προκληθεί στο πλαίσιο μαζικής πνευμονικής εμβολής.³⁰ Τα δεδομένα αυτά μπορούν να αιτιολογηθούν από το γεγονός ότι σε ανακοπή αναπνευστικής αιτιολογίας η διατήρηση της καρδιακής παροχής πριν από την ανακοπή παρατείνει την παροχή CO₂ στους πνεύμονες, συντελώντας έτσι σε υψηλότερα επίπεδα κυψελιδικού CO₂. Συνεπώς, τα αρχικά επίπεδα EtCO₂ –ειδικά σε ανακοπή αναπνευστικής αιτιολογίας– δεν συνιστούν αξιόπιστο δείκτη της μεταβολής της πνευμονικής αιματικής ροής και, επομένως, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προγνωστικός δείκτης ROSC. Σαφώς όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του αιτίου της καρδιακής ανακοπής.³¹

8.2. Αρχικός ρυθμός

Σε περιπτώσεις ROSC όπου ο αρχικός ρυθμός είναι αυστολία καταγράφονται υψηλότερα επίπεδα EtCO₂ σε σύγκριση με τις περιπτώσεις κοιλιακής ταχυκαρδίας/μαρμαρυγής, ενώ επί απουσίας ROSC παρατηρείται το ακριβώς αντίστροφο φαινόμενο.³¹

8.3. Χρόνος έναρξης καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης και παράγοντας διασώστης

Η έναρξη της ΚΑΡΠΑ εντός 4 min από την πρόκληση της καρδιακής ανακοπής από παρευρισκόμενο διασώστη συντελεί σε υψηλότερα επίπεδα EtCO₂, ενώ σε παρατεταμένη εφαρμογή ΚΑΡΠΑ καταγράφεται σταδιακή μείωση αυτών, λόγω πιθανής κόπωσης του διασώστη.³¹

8.4. Φάρμακα αναζωογόνησης

Όπως ήδη επισημάνθηκε, η πνευμονική αιματική ροή καθορίζει τα επίπεδα της συγκέντρωσης του EtCO₂ κατά την ΚΑΡΠΑ και κατά συνέπεια υπάρχει μια θεωρητική σύζευξη μεταξύ της συγκέντρωσης του EtCO₂ και της άρδευσης των στεφανιαίων αγγείων.²⁷ Σε πειραματικό μοντέλο μετά τη χορήγηση αδρεναλίνης ή νοραδρεναλίνης καταγράφηκε μείωση της συγκέντρωσης του EtCO₂ (οριακή μείωση της καρδιακής παροχής), με ταυτόχρονη αύξηση της αιματικής άρδευσης των στεφανιαίων αγγείων και αυξημένη πιθανότητα ROSC.³² Ως γνωστό, οι αγγειοσυσπαστικοί παράγοντες προκαλούν την εκτροπή της αιματικής ροής προς τα ζωτικά όργανα, όπως ο εγκέφαλος και η καρδιά, μέσω της έντονης αγγειοσύσπασης που προκαλείται σε μη ζωτικά όργανα, όπου καταγράφεται μηδενική ή σχεδόν μηδενική αιματική ροή. Παρά την αύξηση της αιματικής ροής στα ζωτικά όργανα, η συνολική αιματική ροή –και επομένως η

καρδιακή παροχή– επιβαρύνεται, επιτείνεται η παράκαμψη της πνευμονικής κυκλοφορίας –αύξηση του κυψελιδικού νεκρού χώρου– και κατά συνέπεια μειώνεται η συγκέντρωση του EtCO₂. Οι ασθενείς που παρουσιάζουν μείωση της συγκέντρωσης του EtCO₂ μετά τη χορήγηση αδρεναλίνης φαίνεται ότι συνιστούν την ομάδα αυτών με την ισχυρότερη αγγειοκινητική απάντηση στη χορήγηση της αδρεναλίνης (αύξηση της πίεσης άρδευσης των στεφανιαίων), η οποία στην πλειονότητα των περιπτώσεων ανακοπής σχετίζεται με την αυτόματη επάνοδο της κυκλοφορίας.³²

9. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η εφαρμογή της καπνογραφίας κατά τη διενέργεια της ΚΑΡΠΑ, τόσο σε προνοσοκομειακό όσο και σε νοσοκομειακό επίπεδο, φαίνεται ότι θα αποτελέσει μια καθιερωμένη πρακτική στο εγγύς μέλλον. Τα πεδία όπου η κλινική της αξία φαίνεται να τεκμηριώνεται είναι η εκτίμηση της σωστής ενδοτραχειακής διασωλήνωσης, της αποτελεσματικότητας της ΚΑΡΠΑ και της επανόδου της αυτόματης κυκλοφορίας, ενώ ενδεχομένως να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες κλινικές παραμέτρους και ως προγνωστικός δείκτης έκβασης της ΚΑΡΠΑ. Στις περιπτώσεις όπου η καπνογραφία δεν είναι διαθέσιμη, εναλλακτικά μπορούν να εφαρμοστούν χρωματογραφικοί ανιχνευτές του διοξειδίου του άνθρακα, οι ενδείξεις των οποίων όμως θα πρέπει να συνεκτιμώνται και με άλλες κλινικές παραμέτρους.

ABSTRACT

The role of carbon dioxide during cardiopulmonary resuscitation

G.G. TSAOUSI

Department of Anesthesiology and Intensive Care Unit, Faculty of Medicine, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

Archives of Hellenic Medicine 2017, 34(5):605–614

High quality cardiopulmonary resuscitation (CPR) is one of the most significant factors defining outcome after a cardiac arrest, with an abundance of evidence indicating that it is a pre-requisite for improving the survival rates. Despite the fact that the importance of monitoring the changes in carbon dioxide throughout a complete respiratory cycle (capnography) as a prognostic indicator of CPR success was underlined several decades ago, only recently has the use of capnographs been incorporated in advanced CPR. End-tidal carbon dioxide (EtCO₂) levels have been identified as the most powerful clinical indicator of CPR success, as EtCO₂ correlates strongly with cardiac output, myocardial blood flow, aortic diastolic pressure, coronary perfusion pressure, cardiac index, and cerebral perfusion pressure. Waveform capnography enables continuous real time end-tidal CO₂ to be monitored during CPR. During CPR, low EtCO₂ levels mirror the poor cardiac output state achieved by chest compressions. Higher-quality chest compressions lead to an increased EtCO₂ value. An abrupt increase in EtCO₂ provides the fastest indication of return of spontaneous circulation (ROSC) as enhanced pulmonary perfusion enables a higher amount of CO₂ to be transported to the lungs and be eliminated by alveolar ventilation. The role of waveform capnography during CPR includes ensuring tracheal tube placement in the trachea, monitoring the quality of chest compressions, identifying ROSC during

CPR and outcome prognostication of CPR. It should be noted, however, that many potential confounding factors may affect the levels of EtCO₂ during cardiac arrest, such as the cause of the arrest, the initial heart rhythm, the early onset of CPR, the fatigue of the rescuer and the administration of drugs. Undoubtedly, the use of capnography during pre-hospital and in-hospital CPR can be expected to be established as a standard practice, in the near future.

Key words: Capnography, Capnometry, Cardiac arrest, Cardiopulmonary resuscitation (CPR), End-tidal carbon dioxide, Return of spontaneous circulation (ROSC)

Βιβλιογραφία

- MURPHY RA, BOBROW BJ, SPAITE DW, HU C, McDANNOLD R, VADEBONCOEUR TF. Association between prehospital CPR quality and end-tidal carbon dioxide levels in out-of-hospital cardiac arrest. *Prehosp Emerg Care* 2016, 20:369–377
- PANTAZOPOULOS C, XANTHOS T, PANTAZOPOULOS I, PAPAIOIS A, KOUSKOUNI E, IACOVIDOU N. A review of carbon dioxide monitoring during adult cardiopulmonary resuscitation. *Heart Lung Circ* 2015, 24:1053–1061
- KALENDA Z. The capnogram as a guide to the efficacy of cardiac massage. *Resuscitation* 1978, 6:259–263
- GUDIPATI CV, WEIL MH, BISERA J, DESHMUKH HG, RACKOW EC. Expired carbon dioxide: A noninvasive monitor of cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 1988, 77:234–239
- POKORNÁ M, NECAS E, KRATOCHVÍL J, SKRIPSKÝR, ANDRÍK M, FRANEK O. A sudden increase in partial pressure end-tidal carbon dioxide (P(ET)CO₂) at the moment of return of spontaneous circulation. *J Emerg Med* 2010, 38:614–621
- WALLACE SK, ABELLA BS, BECKER LB. Quantifying the effect of cardiopulmonary resuscitation quality on cardiac arrest outcome: A systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 2013, 6:148–156
- DONALD MJ, PATERSON B. End tidal carbon dioxide monitoring in prehospital and retrieval medicine: A review. *Emerg Med J* 2006, 23:728–730
- MINER JR, HEEGAARD W, PLUMMER D. End-tidal carbon dioxide monitoring during procedural sedation. *Acad Emerg Med* 2002, 9:275–280
- GRMEC S. Comparison of three different methods to confirm tracheal tube placement in emergency intubation. *Intensive Care Med* 2002, 28:701–704
- BHENDE MS. End-tidal carbon dioxide detectors – are they useful in children? *J Postgrad Med* 1994, 40:78–82
- AZIZ HF, MARTIN JB, MOORE JJ. The pediatric disposable end-tidal carbon dioxide detector role in endotracheal intubation in newborns. *J Perinatol* 1999, 19:110–113
- KODALI BS. Capnography outside the operating rooms. *Anesthesiology* 2013, 118:192–201
- ORNATO JP, SHIPLEY JB, RACHT EM, SLOVIS CM, WRENN KD, PEPE PE ET AL. Multicenter study of a portable, hand-size, colorimetric end-tidal carbon dioxide detection device. *Ann Emerg Med* 1992, 21:518–523
- BOZEMAN WP, HEXTER D, LIANG HK, KELEN GD. Esophageal detector device versus detection of end-tidal carbon dioxide level in emergency intubation. *Ann Emerg Med* 1996, 27:595–599
- HAYDEN SR, SCIAMMARELLA J, VICCELLIO P, THODE H, DELAGI R. Colorimetric end-tidal CO₂ detector for verification of endotracheal tube placement in out-of-hospital cardiac arrest. *Acad Emerg Med* 1995, 2:499–502
- MACLEOD BA, HELLER MB, GERARD J, YEALY DM, MENEGAZZI JJ. Verification of endotracheal tube placement with colorimetric end-tidal CO₂ detection. *Ann Emerg Med* 1991, 20:267–270
- ANTON WR, GORDON RW, JORDAN TM, POSNER KL, CHENEY FW. A disposable end-tidal CO₂ detector to verify endotracheal intubation. *Ann Emerg Med* 1991, 20:271–275
- SANDERS KC, CLUM WB 3rd, NGUYEN SS, BALASUBRAMANIAM S. End-tidal carbon dioxide detection in emergency intubation in four groups of patients. *J Emerg Med* 1994, 12:771–777
- CALLAWAY CW, SOAR J, AIBIKI M, BÖTTIGER BW, BROOKS SC, DEAKIN CD ET AL. Part 4: Advanced Life Support: 2015 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with treatment recommendations. *Circulation* 2015, 132(Suppl 1):S84–S145
- SILVESTRI S, RALLS GA, KRAUSS B, THUNDIYIL J, ROTHROCK SG, SENNA ET AL. The effectiveness of out-of-hospital use of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring on the rate of unrecognized misplaced intubation within a regional emergency medical services system. *Ann Emerg Med* 2005, 45:497–503
- SOAR J, NOLAN JP, BÖTTIGER BW, PERKINS GD, LOTT C, CARLI P ET AL. European Resuscitation Council guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation* 2015, 95:100–147
- MOON SW, LEE SW, CHOI SH, HONG YS, KIM SJ, KIM NH. Arterial minus end-tidal CO₂ as a prognostic factor of hospital survival in patients resuscitated from cardiac arrest. *Resuscitation* 2007, 72:219–225
- LYON RM, FERRIS JD, YOUNG DM, McKEOWN DW, OGLESBY AJ, ROBERTSON C. Field intubation of cardiac arrest patients: A dying art? *Emerg Med J* 2010, 27:321–323
- TAKEDA T, TANIGAWA K, TANAKA H, HAYASHI Y, GOTO E, TANAKA K. The assessment of three methods to verify tracheal tube placement in the emergency setting. *Resuscitation* 2003, 56:153–157
- TANIGAWA K, TAKEDA T, GOTO E, TANAKA K. The efficacy of esophageal detector devices in verifying tracheal tube placement: A randomized cross-over study of out-of-hospital cardiac arrest patients. *Anesth Analg* 2001, 92:375–378
- LINK MS, BERKOW LC, KUDENCHUK PJ, HALPERIN HR, HESS EP, MOITRA VK ET AL. Part 7: Adult Advanced Cardiovascular Life Support: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation* 2015, 132(Suppl 2):S444–S464

27. SHEAK KR, WIEBE DJ, LEARY M, BABAEIZADEH S, YUEN TC, ZIVE D ET AL. Quantitative relationship between end-tidal carbon dioxide and CPR quality during both in-hospital and out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2015, 89:149–154
28. HARTMANN SM, FARRIS RW, DI GENNARO JL, ROBERTS JS. Systematic review and meta-analysis of end-tidal carbon dioxide values associated with return of spontaneous circulation during cardiovascular resuscitation. *J Intensive Care Med* 2015, 30:426–435
29. KOLAR M, KRIZMARIC M, KLEMEN P, GRMEC S. Partial pressure of end-tidal carbon dioxide successful predicts cardiopulmonary resuscitation in the field: A prospective observational study. *Crit Care* 2008, 12:R115
30. LIN QM, FANG XS, ZHOU LL, FU Y, ZHU J, HUANG ZT. Changes of end-tidal carbon dioxide during cardiopulmonary resuscitation from ventricular fibrillation versus asphyxial cardiac arrest. *World J Emerg Med* 2014, 5:116–121
31. HERADSTVEIT BE, SUNDE K, SUNDE GA, WENTZEL-LARSEN T, HELTNE JK. Factors complicating interpretation of capnography during advanced life support in cardiac arrest – a clinical retrospective study in 575 patients. *Resuscitation* 2012, 83:813–818
32. LINDBERG L, LIAO Q, STEEN S. The effects of epinephrine/norepinephrine on end-tidal carbon dioxide concentration, coronary perfusion pressure and pulmonary arterial blood flow during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2000, 43:129–140

Corresponding author:

G.G. Tsousi, 32 Maiandrou street, GR-562 24 Thessaloniki, Greece
e-mail: tsaousig@otenet.gr; tsaousig@auth.gr

.....