

ΚΑΤΑΔΥΣΕΙΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΒΑΘΟΥΣ

Δ.Σ. ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ

Οι καταδύσεις μεγάλου βάθους με ειδική ανεξάρτητη συσκευή κατάδυσης (scuba: self contained breathing apparatus) αποτελούν παγκοσμίως μια ιδιαίτερα δημοφιλή δραστηριότητα.

Η ιστορία της ελεύθερης κατάδυσης μεγάλου βάθους ξεκινά από το 1943, όταν οι Emile Gagnan και Jacques Yves Cousteau σχεδίασαν τη συσκευή «aqua lung». Έκτοτε και με την πάροδο των χρόνων, η ελεύθερη κατάδυση εξελίχθηκε από άθλημα των ολίγων με άριστη φυσική κατάσταση, σε δραστηριότητα των πολλών με λιγότερες απαιτήσεις.

Σήμερα, καθημερινά εκατομμύρια άνθρωποι απολαμβάνουν την ομορφιά της ελεύθερης κατάδυσης. Παρόλη τη μαζικότητα των συμμετοχών, τα στάνταρ ασφαλείας του αθλήματος διατηρούνται πολύ υψηλά, αγγίζοντας το 0,04%. Με βάση την Αμερικάνικη Στατιστική Υπηρεσία, η ασφάλεια του αθλήματος έχει βελτιωθεί αισθητά τα τελευταία χρόνια (από 8,6/100.000 το 1976 σε 3,7/100.000 το 1990). Στην εξέλιξη αυτή σημαντικό ρόλο έπαιξαν τόσο η βελτίωση των προδιαγραφών των χρησιμοποιούμενων συσκευών και των κανόνων ασφαλείας, όσο και η άρτια εκπαίδευση των αθλουμένων.

Ο υποθαλάσσιος κόσμος ενός scuba δύτη είναι συνήθως ένα εχθρικό περιβάλλον. Κατά τη διάρκεια της κατάδυσης πρέπει να αντιμετωπισθούν διάφοροι κίνδυνοι, οι οποίοι δύναται να σχετίζονται είτε με το περιβάλλον είτε με τις φυσικές μεταβολές που επισυμβαίνουν κατά την κάθοδο σε μεγάλα βάθη. Τα σημαντικότερα προβλήματα για έναν δύτη αποτελούν οι μεταβολές της πίεσης, οι διαταραχές της όρασης, η υποθερμία, ο περιορισμένος όγκος του αερίου μίγματος και η νόσος αποσυμπίεσης^{1,2}.

Ας εξετάσουμε λοιπόν ορισμένους βασικούς παράγοντες που ρυθμίζουν τη φυσική της κατάδυσης. Η ατμοσφαιρική πίεση, η πίεση που ασκείται στο σώμα από την ατμόσφαιρα, ισούται με 1atm ή 14,7psi στο επίπεδο της θάλασσας και μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς το υψόμετρο. Η υδροστατική πίεση, η πίεση που ασκείται σε ένα σώμα από ένα υγρό κατά την εμβύθιση, αυξάνεται κατά 0,445psi για κάθε πόδι κατάδυσης και στα 33 πόδια βάθος ισούται με 1atm. Η απόλυτη πίεση είναι το άθροισμα της ατμοσφαιρικής και της υδροστατικής πίεσης που ασκούνται σε ένα βυθισμένο σώμα και εκφράζεται σε psia. Η μερική πίεση σε ένα μίγμα αερίων είναι η αναλογία συμμετοχής ενός αερίου στη διαμόρφωση της ολικής πίεσης του αερίου αυτού. Είναι ανάλογη με τον όγκο (%) που καταλαμβάνει το συγκεκριμένο αέριο στο μίγμα και καθορίζει το ποσοστό του αερίου που θα διαλυθεί στους ιστούς και το αίμα. Το αέριο μίγμα της κατάδυσης αποτελείται από 78% N₂, 21% O₂, 0,9% Ar, 0,03% CO₂, 0,003% σπάνια αέρια.

Οι μεταβολές της πίεσης επιδρούν ελάχιστα στη συμπεριφορά των υγρών του σώματος. Αντίθετα, ο μεγαλύτερος κίνδυνος από τις μεταβολές της πίεσης εστιάζεται στις κοιλότητες του σώματος που περιέχουν αέρα: πνεύμονες, μέσο ους, κόλποι, πεπτικό. Για το λόγο

αυτό, η γνώση του νόμου των αερίων έχει θεμελιώδη σημασία στη φυσική της κατάδυσης. Ο νόμος του Boyle: $P \times V = K$, όπου P =πίεση, V =όγκος, K =σταθερά. Υπό σταθερή θερμοκρασία, ο όγκος ενός αερίου μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς την απόλυτη πίεση, ενώ η πυκνότητά του ανάλογα προς την απόλυτη πίεση αυτού. Ο νόμος αυτός περιγράφει τι θα συμβεί σε μια κοιλότητα με αέρα εάν δεν επιτευχθεί εξίσωση με την περιβάλλουσα πίεση. Ο νόμος του Charles: $P \times V = R \times T$, όπου P =πίεση, V =όγκος, R =παγκόσμια σταθερά αερίων, T =θερμοκρασία. Υπό σταθερή πίεση, ο όγκος ενός αερίου μεταβάλλεται ανάλογα προς την απόλυτη πίεση, ενώ υπό σταθερό όγκο, η πίεση ενός αερίου μεταβάλλεται ανάλογα προς την απόλυτη θερμοκρασία. Ο νόμος αυτός περιγράφει τη συμπεριφορά των αερίων εντός των δεξαμενών του πεπιεσμένου αέρα. Αν μια δεξαμενή εκτεθεί σε μια πηγή θερμότητας (ήλιος), τότε η αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε αύξηση της πίεσης του αερίου εντός της δεξαμενής (V =σταθ.). Ο νόμος του Dalton: $P_{\text{total}} = p_{r1} + p_{r2} + p_{rn}$, P_{total} =ολική πίεση, p_{r1-n} = μερική πίεση αερίου 1- n . Η ολική πίεση που ασκείται από ένα μίγμα αερίων όγκου V , είναι ίση με το άθροισμα των μερικών πιέσεων των αερίων αυτών, στον όγκο V που καταλαμβάνει το αέριο μίγμα. Ο νόμος αυτός μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες

για τη σύσταση και την ποιότητα του αερίου μίγματος κατά την περίπτωση επιπλοκών της κατάδυσης: μόλυνση μίγματος, νάρκωση από άζωτο, νόσος αποσυμπίεσης. Ο νόμος του Henry: $VG/VL = V_{a \times p1}$, VG =όγκος διαλυόμενου αερίου, VL =όγκος υγρού, V_a = σταθερά Benson, $p1$ =μερική πίεση. Υπό σταθερή θερμοκρασία, η διάλυση ενός αερίου σε ένα υγρό εξαρτάται από τη μερική πίεση του αερίου που βρίσκεται σε επαφή με το υγρό, καθώς και από τη σταθερά διάλυσης του αερίου στο συγκεκριμένο υγρό. Ο νόμος αυτός επεξηγεί ότι η διάλυση ενός αερίου στο αίμα ενός δύτη αυξάνεται με την αύξηση του βάθους έως το σημείο στο οποίο επισυμβαίνει ιστικός κορεσμός. Αποτελεί τη βάση για την πρόκληση της νόσου αποσυμπίεσης.

Έχοντας κατανοήσει τις αρχές της φυσικής της κατάδυσης, είναι πλέον δυνατό να προληφθούν οι βασικές της επιπλοκές.

Σε αυτές περιλαμβάνονται:

1. Σύνδρομο υπερδιάτασης πνευμόνων
2. Νάρκωση από άζωτο
3. Ακουστικό βαρότραυμα
4. Νόσος αποσυμπίεσης (DCS)
4. Βαρότραυμα των κόλπων
5. Ear canal squeeze
6. Οδοντικό βαρότραυμα.

Πίνακας 1. Απόλυτες και σχετικές αντενδείξεις συμμετοχής στο άθλημα της ελεύθερης

	Αναπνευστικό	Ρίνα, ους, τράχηλος	Καρδιαγγειακό	Γαστρεντερικό	Ουροποιογεννητικό
Απόλυτες	Άσθμα Εμφύσημα Χρ. Βρογχίτιδα Πνευμοθώρακας (αυτόματος) Ca πνεύμονα	Διάρρηση τυμπανικού υμένα Ιστορικό χειρουργικής επέμβασης στο μέσο ους Βλάβες στον κοχλία Σύνδρομο Menière Χρόνια ωτίτιδα Μαστοειδίτιδα	Στηθάγχη Έμφραγμα Σύνδρομο WPW Αρρυθμίες Βλάβες διαφράγματος Προσθετικές βαλβίδες Βηματοδότης Συγκοπτικές κρίσεις	Ενεργό έλκος N. Crohn Ελκώδης κολίτιδα Ηπατίτιδα	Εγκυμοσύνη
Σχετικές	Πνευμ. λοίμωξη Θ/Χ επέμβαση Πνευμοθώρακας (τραυματικός)	Λοίμωξη ανωτ. αναπνευστικού Οξεία μέση ωτίτιδα Εξωτερική ωτίτιδα Αλλεργική ρινίτιδα Πολύποδες		Τοιχωματικές κήλες Βουβωνοκήλη	

Οι παραπάνω νοσολογικές οντότητες μπορεί να προκαλέσουν οξεία συμπτωματολογία και απαιτούν αντιμετώπιση από ειδικό. Παρακάτω θα αναλυθούν οι επιπλοκές που απαιτούν άμεση επέμβαση για τη διάσωση του δύτη, δηλαδή το σύνδρομο υπερδιάτασης, η νάρκωση από άζωτο και η νόσος αποσυμπίεσης. Επιπλέον, περιγράφεται ενδεικτικά και το ακουστικό βαρότραυμα, όχι τόσο για την επικινδυνότητα της ίδιας της επιπλοκής, όσο για την πλήρη αποδιοργάνωση που δύναται να επιφέρει στο δύτη κατά τη διάρκεια της ανάδυσης, με αποτέλεσμα την πρόκληση άλλων σοβαρότερων επιπλοκών.

Σύνδρομο υπερδιάτασης³⁻⁶

Οφείλεται είτε σε κακή τεχνική (αποφυγή εκπνοής κατά την ανάδυση), είτε στην παρουσία υποκείμενης πνευμονικής νόσου (άσθμα, εμφύσημα, χρ. βρογχίτιδα). Εκδηλώνεται ως: αρτηριακή εμβολή από αέριο, πνευμοθώρακας, εμφύσημα μεσοθωρακίου, υποδόριο εμφύσημα.

Η αρτηριακή εμβολή από αέριο οφείλεται στην είσοδο αερίου στην αρτηριακή κυκλοφορία μέσω των πνευμονικών φλεβών (εμβολισμός αγγείων-οργάνων). Η συμπτωματολογία περιλαμβάνει κεφαλαλγία, shock, απώλεια συνείδησης, αδυναμία, παραισθήσεις, αταξία,

οπτικές διαταραχές, ναυτία, έμετος, θωρακικό άλγος, αιμόπτυση, σύγχυση. Η διάγνωση τίθεται κλινικά. Δεν απαιτείται απεικονιστική μέθοδος (CT scan, MRI). Είναι απαραίτητη η άμεση έναρξη θεραπευτικών μέτρων, τα οποία περιλαμβάνουν: την εξασφάλιση του αεραγωγού-χορήγηση 100% O₂, τη γραμμή για ενδοφλέβια χορήγηση υγρών, την απεικόνιση της καρδιακής λειτουργίας και την άμεση διακομιδή σε ειδικό κέντρο με υπερβαρικό θάλαμο για επανασυμπίεση.

Ο πνευμοθώρακας παρουσιάζει χαρακτηριστική συμπτωματολογία με δύσπνοια, θωρακικό άλγος, βήχα, ταχυκαρδία, κυάνωση, shock, διάταση φλεβών τραχήλου, μείωση αναπνευστικού ψιθυρίσματος, αυξημένη τυμπανικότητα, μετατόπιση της τραχείας (υπό τάση). Στα θεραπευτικά μέτρα περιλαμβάνονται η εξασφάλιση αεραγωγού και η χορήγηση 100% O₂, η γραμμή για ενδοφλέβια χορήγηση υγρών. Αν ο ασθενής είναι σταθερός, η Ro θώρακος είναι διαγνωστική, αντίθετα αν ο ασθενής είναι ασταθής απαιτείται η άμεση εισαγωγή φλεβοκαθετήρα (12G) στο 2ο μεσοπλεύριο διάστημα (μεσοκλειδική γραμμή) και εν συνεχεία billau και αναρρόφηση.

Το εμφύσημα μεσοθωρακίου προκαλείται από την είσοδο αερίου στο μεσοθωράκιο. Εμφανίζεται με οπισθοστερνικό άλγος επιτενόμενο κατά το βήχα, τη βαθιά εισπνοή και την κατάποση και ακτινοβολεί προς ώμο, ράχη, τράχηλο και με δύσπνοια, κυάνωση, shock. Η θεραπεία περιλαμβάνει την εξασφάλιση αεραγωγού και τη χορήγηση 100% O₂, τη γραμμή για ενδοφλέβια χορήγηση υγρών. Πρέπει πάντα να διενεργείται έλεγχος για AGE ή πνευμοθώρακα.

Το υποδόριο εμφύσημα προκαλείται από την έξοδο αερίου από το μεσοθωράκιο προς τον υποδόριο ιστό του θώρακα και του τραχήλου. Παρουσιάζεται με αίσθημα πληρότητας στον τράχηλο, κριγμό κατά την ψηλάφηση, βήχα, μεταβολή του τόνου της φωνής. Η θεραπεία περιλαμβάνει την εξασφάλιση του αεραγωγού και τη χορήγηση 100% O₂, καθώς και την εξασφάλιση γραμμής για ενδοφλέβια χορήγηση υγρών.

Νάρκωση από άζωτο

Σε υψηλή pp (βάθος >100 ποδών), το άζωτο αποκτά αναισθητική δράση. Παρατηρείται αρχικώς διέγερση, αιμωδίες χειλέων και άκρων και ακολουθούν: επιβράδυνση νοητικής λειτουργίας, αίσθημα τρόμου, αδυναμία λήψης αποφάσεων. Ο κίνδυνος ατυχήματος είναι μεγάλος.

Θεραπευτικά απαιτείται η άνοδος σε μικρότερο βάθος για την υποχώρηση της συμπτωματολογίας. Δεν επιτρέπεται να επιχειρηθεί νέα κατάδυση μετά την ύφεση των συμπτωμάτων. Η επιστροφή στην επιφάνεια είναι αναγκαία.

κατάδυσης

Αιματολογικό	Ενδοκρινείς	Μυοσκελετικό
Δρεπανοκυτταρική αναιμία	Ινσουλινοεξαρτώμενος διαβήτης Αντιδιαβητικά δισκία	Μυϊκή δυστροφία Ενεργός οστεονέκρωση
	Δίαιτα διαβήτη	Κάταγμα σε πώρωση Επώδυνες βλάβες

Βαρύτραυμα μέσου ωτός^{7,8}

Οφείλεται στην αδυναμία εξισορρόπησης πιέσεων μεταξύ περιβάλλοντος και μέσου ωτός, λόγω δυσλειτουργίας της ευσταχιακής σάλπιγγας (λοιμώξεις ανωτ. αναπνευστικού, αλλεργική ρινίτιδα, κάπνισμα). Αρχικά εμφανίζεται με αίσθημα πληρότητας, πόνο, ίλιγγο, μείωση της ακοής και ακολουθούν ρήξη της τυμπανικής μεμβράνης, ίλιγγος, έμετος.

Στη θεραπεία περιλαμβάνονται αποσυμφορητικά (spray και per os), παυσίπονα, αντιμικροβιακά ευρέος φάσματος και εξέταση από ειδικό (ΩΡΛ).

Νόσος αποσυμπίεσης (DCS)⁹

Είναι αποτέλεσμα της ανεπαρκούς αποσυμπίεσης μετά από έκθεση σε αυξημένες πιέσεις, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό φυσαλίδων αζώτου. Αυτές με τη σειρά τους δύναται να προκαλέσουν είτε τη ρήξη κυττάρων, είτε την απόφραξη αγγείων και την εξωτερική πίεση-τάση σε αγγεία-νεύρα. Στους προδιαθεσικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η λανθασμένη εφαρμογή προγράμματος κατάδυσης, η απώλεια σταδίων αποσυμπίεσης, η καταβολή, η έντονη σωματική λειτουργία, η υποθερμία, η χρήση αλκοόλ πριν την κατάδυση, η παχυσαρκία, η κακή φυσική κατάσταση, η αφυδάτωση, οι παλαιοί ιστοί τραυματισμοί, το αεροπορικό ταξίδι άμεσα μετά την κατάδυση. Η νόσος διακρίνεται σε δύο τύπους. Ο τύπος DCS I εμφανίζει μόνο δερματικές, μυοσκελετικές και λεμφαγγειακές εκδηλώσεις (ερυθρότητα-κνησμό δέρματος, επώδυνη άρθρωση άνευ οίδηματος, οίδημα σκέλους).

Ο τύπος DCS II παρουσιάζει συμπτωματολογία από το ΚΝΣ, το ΠΝΣ και τους πνεύμονες (νευρικό: παράλυση, απώλεια αισθητικότητας, πάρεση, κεφαλαλγία, οπτικές διαταραχές, ψυχωτικές αντιδράσεις, απώλεια συνείδησης, έμετος, ίλιγγος, νυσταγμός / πνεύμονες: υποστερνικό άλγος που επιτείνεται στην εισπνοή, δύ-

σπνοια). Η θεραπεία περιλαμβάνει την άμεση χορήγηση οξυγόνου 100% και υγρών ενδοφλεβίως, καθώς και την ταχύτατη μεταφορά σε ειδικό κέντρο για την έναρξη επανασυμπίεσης¹⁰.

Γνωρίζοντας τις αρχές της φυσικής της ελεύθερης κατάδυσης καθώς και την παθολογία με την οποία δυναται να σχετισθεί, είναι εφικτό να διαμορφωθεί ένας πίνακας σχετικών και απόλυτων αντενδείξεων για τη συμμετοχή στο συγκεκριμένο άθλημα (πίνακας 1).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Benton PJ, Glover MA. Diving medicine. *Travel Med Infect Dis* 2006 May-Jul; 4(3-4):238-254. Epub 2005 Sep 28.
2. McMullin AM. Scuba diving: What you and your patients need to know. *Cleve Clin J Med* 2006 Aug; 73(8):711-712, 714, 716 passim. Review.
3. Boussuges A, Blanc F, Carturan D. Hemodynamic changes induced by recreational scuba diving. *Chest* 2006 May; 129(5):1337-1343.
4. Cheung HY, Law S, Wong KH, Kwok KF, Wong J. Spontaneous pneumomediastinum in a scuba diver. *Hong Kong Med J* 2006 Apr; 12(2):152-153.
5. Germonpre P. Patent foramen ovale and diving. *Cardiol Clin* 2005 Feb; 23(1):97-104.
6. Muth CM, Tetzlaff K. Scuba diving and the heart. *Cardiac aspects of sport scuba diving. Herz* 2004 Jun; 29(4):406-413.
7. Cortes MD, Longridge NS, Lepawsky M, Nugent RA. Barotrauma presenting as temporal lobe injury secondary to temporal bone rupture. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005 May; 26(5):1218-1219.
8. Klingmann C, Knauth M, Ries S, Tasman AJ. Hearing threshold in sport divers: is diving really a hazard for inner ear function? *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2004 Feb; 130(2):221-225.
9. DeGorordo A, Vallejo-Manzur F, Chanin K, Varon J. Diving emergencies. *Resuscitation* 2003 Nov; 59(2):171-180.
10. Tetzlaff K, Shank ES, Muth CM. Evaluation and management of decompression illness—an intensivist's perspective. *Intensive Care Med* 2003 Dec; 29(12):2128-2136. Epub 2003 Nov 5.