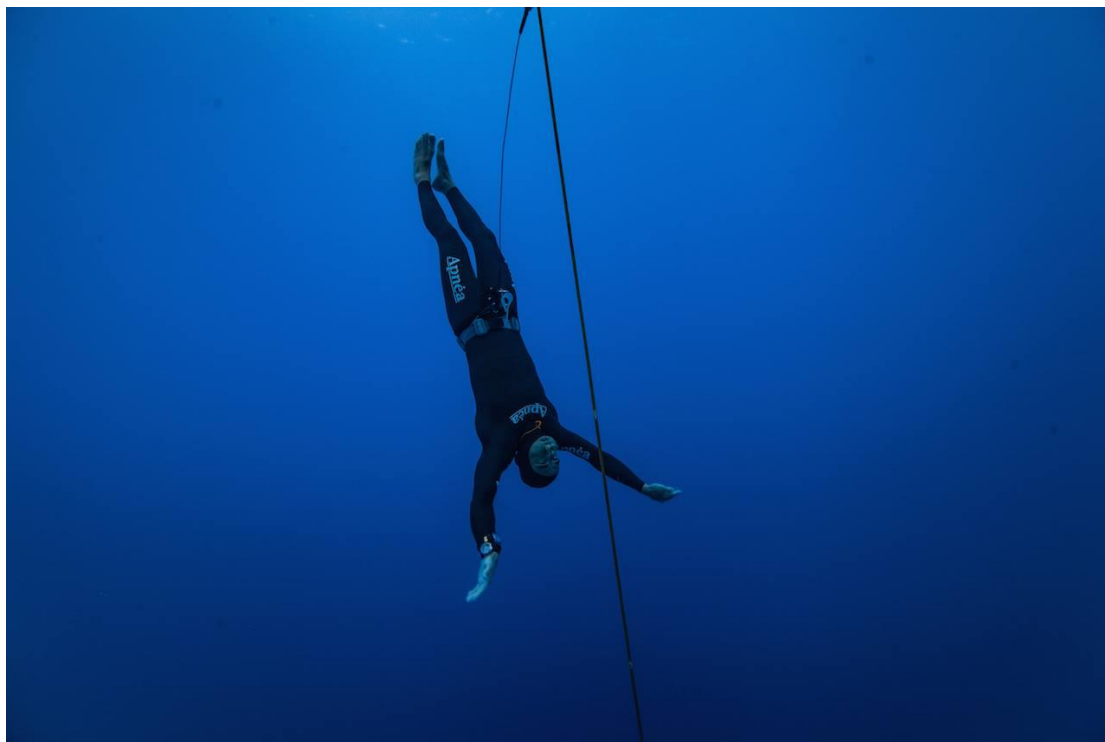


Science in Free Diving

Η φυσιολογία και η παθοφυσιολογία της ελεύθερης κατάδυσης.

Μέρος Γ΄



Παθοφυσιολογικοί μηχανισμοί που σχετίζονται με τις δραστηριότητες της ελεύθερης κατάδυσης.

Γλωσσοφαρυγγική Εμφύσηση (packing) και Εκφύσηση (reverse packing): Κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων πολλά από τα ρεκόρ στην ελεύθερη κατάδυση έχουν επιτευχθεί χρησιμοποιώντας έναν πρόσθετο αναπνευστικό ελιγμό, αποκαλούμενο «γλωσσοφαρυγγική εμφύσηση» ή γνωστό ως «packing». Με το packing, οι ελεύθεροι δύτες προσθέτουν περισσότερο αέρα στους πνεύμονες τους μετά από μια πλήρη και μέγιστη εισπνοή. Ο σκοπός αυτού του ελιγμού είναι να ξεκινήσει η κατάδυση με όσο το δυνατόν περισσότερο όγκο αέρα στους πνεύμονες ώστε να επιτευχθεί το μεγαλύτερο πιθανό βάθος προτού συμπιεστούν οι πνεύμονες και ο θώρακας στα ανεκτά από τον δύτε ή μηχανικά ασφαλή επίπεδα συμπίεσης. Επιπλέον, ο αυξημένος όγκος αέρα στους πνεύμονες προσθέτει και περισσότερο οξυγόνο διαθέσιμο για τον οργανισμό καθώς επίσης και περισσότερο χώρο για την αποθήκευση του αποβαλλόμενου διοξειδίου.

Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται οι γλωσσοφαρυγγικοί μύες για να στείλουν με πίεση τον αέρα μέσα στους πνεύμονες, όπως θα έκανε μια αντλία συμπίεσης. Η τεχνική αυτή της εισπνοής πρωτοπαρουσιάστηκε από τον Dail και τους συνεργάτες του το 1955 (J Am Med Assoc 158: 445-449, 1955) σαν ένας τρόπος αναπνοής σε άτομα που είχαν παράλυση των αναπνευστικών τους μυών λόγω πολιομυελίτιδας και αυτός ήταν και ο μόνος τρόπος που μπορούσαν να αναπνεύσουν αυτοί οι ασθενείς εκτός τεχνικής υποστήριξης. Μάλιστα υπήρχαν ασθενείς που μπορούσαν να αναπνέουν με αυτόν τον τρόπο για πάνω από 12 ώρες (!). Χρησιμοποιώντας τώρα την αντίθετη τεχνική, δηλαδή την άντληση του αέρα από τους πνεύμονες μετά από μια μέγιστη εκπνοή επιτυγχάνεται η «γλωσσοφαρυγγική εκφύσηση» ή γνωστή ως «reverse packing». Η τελευταία μέθοδος υιοθετήθηκε από ελεύθερους δύτες που καταδύονταν σε μεγάλα βάθη, στα οποία οι πνεύμονες τους λόγω της υδροστατικής πίεσης αποκτούσαν τόσο μικρό όγκο όπου οι εκπνευστικοί μύες ήταν ανίκανοι να αντλήσουν από μέσα τους τον λιγιστό αέρα ώστε να εξισώσουν την πίεση στα τύμπανά τους. Η τεχνική αυτή επιτρέπει στο δύτη να αντλήσει μια μικρή ποσότητα αέρα από τους πνεύμονες και να τον φέρει στο στόμα ώστε να πραγματοποιήσει τον ελιγμό Frenzel για μια αποδοτική εξίσωση.

Σαν εναλλακτική μέθοδο, μερικοί δύτες εξισώνουν την πίεση των μέσων αυτιών και των ρινικών κοιλοτήτων (ιγμόρεια) με την βοήθεια του θαλασσινού νερού. Ρουφώντας νερό από την μύτη, συμπιέζουν τον ήδη υπάρχοντα αέρα στις κοιλότητες και έτσι επιτυγχάνεται η εξίσωση (wet equalization). Πράγματι σε έναν ικανό δύτη που εφάρμοσε την τεχνική αυτή στην ξηρά κατά την διάρκεια μιας πειραματικής μελέτης, η μαγνητική τομογραφία έδειξε ότι μέσα στο μέσο αυτί και στους ρινικούς κόλπους υπήρχε νερό.

Γενικά οι ελεύθεροι δύτες χρησιμοποιούν το packing και το reverse packing στην ξηρά για να βελτιώσουν την ευελιξία του θωρακικού τοιχώματος και την ελαστικότητα του διαφράγματος. Οι περισσότεροι πρωταθλητές ελεύθερης κατάδυσης έχουν πολύ μεγάλους σε όγκο πνεύμονες αλλά δεν είναι γνωστό εάν αυτό είναι απλώς ένα αποτέλεσμα γενετικού πλεονεκτήματος (φυσική επιλογή) ή εάν είναι αποτέλεσμα της προπόνησης με γλωσσοφαρυγγικές εμφυσήσεις (packing) και εκφυσήσεις (reverse packing). Μερικοί ελεύθεροι δύτες είναι σε θέση να

«καταπιούν» τόσο πολύ αέρα κατά την διάρκεια του packing, που το στήθος τους έχει την εμφάνιση ενός μεγάλου βαρελιού.

Είναι πιθανόν οι δύτες αυτοί με την συχνή προπόνηση να έχουν αυξήσει σημαντικά την αρθρική κινητικότητα των πλευρών και την ελαστικότητα των αναπνευστικών μυών έτσι ώστε ο θωρακικός όγκος να μπορεί να αυξηθεί σε αυτό το επίπεδο. Κάτι τέτοιο μπορεί κανείς να δει πολύ συχνά στους ασθενείς με εμφύσημα (αναπνευστική δύσπνοια λόγω καπνίσματος) λόγω της υπερβολικής προσπάθειας για αναπνοή. Παρόλα αυτά, οι δύτες (σε αντίθεση με τους ασθενείς με εμφύσημα ή κυστική ίνωση) διατηρούν σε φυσιολογικό επίπεδο την πνευμονική ευενδοτότητα (lung compliance). Η πνευμονική ευενδοτότητα είναι η ικανότητα των πνευμόνων να αυξομειώνουν τον όγκο τους με την ελάχιστη δυνατή προσπάθεια. Εάν οι πνεύμονες για παράδειγμα έχουν κάποια ασθένεια που τους κάνει μη ελαστικούς, τότε για να γεμίσουν με αέρα χρειάζεται να εξασκηθεί μεγάλη πίεση από τους αναπνευστικούς μύες, όπως όταν προσπαθούμε να φουσκώσουμε ένα μπαλόνι από σκληρό ελαστικό υλικό, γιατί το compliance του πνεύμονα είναι μικρό. Όταν το compliance του πνεύμονα είναι μεγάλο, τότε οι πνεύμονες γεμίζουν πολύ πιο εύκολα με λιγότερη πίεση από τους αναπνευστικούς μύες (εξοικονόμηση ενέργειας). Αυτό βρέθηκε από μία μελέτη στην οποία εξετάστηκαν ελεύθεροι δύτες μετά από μερικά σετ από packing. Στους δύτες αυτούς βρέθηκε ότι αυξάνεται προσωρινά η ελαστικότητα του πνεύμονα και αυτό διαρκεί για 3 λεπτά. Δηλαδή υπάρχει μια δράση «ζεστάματος» (warm-up) που μεταφράζεται σαν πιο άνετη και ελεύθερη αναπνοή για τα τρία αυτά λεπτά. Σε μια άλλη μελέτη βρέθηκε ότι η ξηρή προπόνηση με packing αύξησε την ζωτική χωρητικότητα των δοκιμαζομένων (χωρίς εμπειρία στην ελεύθερη κατάδυση) κατά 3% μετά από έξι εβδομάδες προπόνησης.

Η εφαρμογή της γλωσσοφαρυγγικής εμφύσησης (packing) έχει βρεθεί από μελέτες ότι μπορεί να αυξήσει την ζωτική χωρητικότητα (τον αέρα που ουσιαστικά χρησιμοποιούμε) των πνευμόνων μέχρι και 50%. Για να γίνει πιο κατανοητό το όφελος, ας εξετάσουμε το παράδειγμα ενός ατόμου με ζωτική χωρητικότητα στα 8 λίτρα και υπολειπόμενο όγκο (ο αέρας που μένει πάντα μέσα στους πνεύμονες) στα 2 λίτρα, σύνολο 10 λίτρα ολική πνευμονική χωρητικότητα. Τώρα με την μέθοδο του packing ο δύτες αυτός καταπίνει ακόμα 4 λίτρα αέρα (στην 1 ATM). Με απλά μαθηματικά έχουμε 10 λίτρα + 4 λίτρα packing = 14 λίτρα αέρα. Τα πράγματα όμως

δεν είναι έτσι. Με το packing των 4 λίτρων, η ενδοπνευμονική πίεση αυξάνεται στα 10 kPa (75 mm Hg) και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την συμπίεση του αέρα από τα 14 λίτρα στα 12.7 λίτρα (σαν να είμαστε υπό πίεση). Δηλαδή, το πραγματικό αποτέλεσμα των 4 λίτρων αέρα με packing έχει πραγματική αύξηση του πνευμονικού αέρα από τα $8+2=10$ λίτρα στα 12.7 λίτρα δηλαδή κατά 27%. Αυτός ο πρόσθετος όγκος αέρα «χωράει» λόγω της διάταξης του διαφράγματος προς τα κάτω, της αύξησης της θωρακικής περιφέρειας, καθώς επίσης και από τη συμπίεση του αέρα όπως προαναφέραμε.

Η αυξημένη ενδοπνευμονική πίεση θα μειώσει επίσης και την ποσότητα του αίματος στην θωρακική περιοχή και θα ελευθερώσει έτσι περισσότερο χώρο για τον επιπλέον αέρα. Ωστόσο, η υψηλή ενδοπνευμονική πίεση δεν είναι χωρίς κανένα κίνδυνο δεδομένου ότι η πίεση θα μειώσει τη φλεβική επιστροφή της καρδιάς και επομένως το καρδιακό προφορτίο και συνεπώς την καρδιακή παροχή με τον ενδεχόμενο κίνδυνο για καρδιακή συγκοπή.

Υπάρχουν επίσης αναφορές για περιστατικά πνευμονικού βαροτραύματος που έχει προκληθεί από packing σαν αποτέλεσμα της αυξημένης ενδοπνευμονικής πίεσης στα 8kPa (60mmHg). Πρέπει να αναφερθεί ότι ο αναπνευστικός αυτός ελιγμός – παρότι εγκυμονεί κινδύνους - χρησιμοποιείται από πολλούς δύτες με μόνο λίγα καταγραμμένα περιστατικά σημαντικών επιπλοκών. Ωστόσο, οι μακροχρόνιες επιδράσεις του ελιγμού αυτού δεν είναι ακόμα γνωστές και έτσι κάθε δύτης πρέπει να τον εφαρμόζει με προσοχή.

Νόσος εξ αποσυμπίεσης και νάρκωση αζώτου:

Η επίδραση της υψηλής πίεσης του αζώτου στις βαθιές ελεύθερες καταδύσεις είναι ενδεχομένως παρόμοια με αυτή που εξασκείται και στους δύτες της αυτόνομης κατάδυσης. Θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι επαναλαμβανόμενες βαθιές βουτιές με μικρά διαστήματα ξεκούρασης στην επιφάνεια, θα οδηγούσαν στη συσσώρευση αρκετού αζώτου για να προκληθεί η νόσος εξ αποσυμπίεσης και στους ελεύθερους καταδύτες. Πράγματι, οι επαναλαμβανόμενες βουτιές των κορεατών Amas δυτών έχουν προκαλέσει υπεραζωθαιμία (αυξημένο άζωτο στο αίμα). Επίσης περιστατικά νευρολογικής φύσεως νόσου εξ αποσυμπίεσης σε ελεύθερους δύτες

έχουν αναφερθεί και μάλιστα η θεραπεία σε θάλαμο αποσυμπίεσης είχε επιτυχή έκβαση.

Παρά το γεγονός ότι οι ελεύθεροι δύτες πρόσφατα έχουν φθάσει σε τέτοια βάθη στα οποία ένας αυτόνομος δύτες θα καθίστατο λειτουργικά εντελώς ανίκανος από τη νάρκωση αζώτου, οι αναφορές για νάρκωση αζώτου σε ελεύθερους δύτες απουσιάζουν από την διεθνή βιβλιογραφία.

Είναι πολύ πιθανό φυσικά ότι τέτοια επεισόδια νάρκωσης να έχουν ξεχαστεί από τους δύτες δεδομένου ότι η νάρκωση του αζώτου πολύ συχνά προκαλεί αμνησία. Είναι επίσης πιθανό, να μην αναπτύσσεται νάρκωση του αζώτου κατά τη διάρκεια των βαθιών ελεύθερων καταδύσεων λόγω της σύντομης διάρκειας της έκθεσης του οργανισμού καθώς επίσης και της μειωμένης περιοχής ανταλλαγής αερίων λόγω της συμπίεσης των πνευμόνων και του σχηματισμού οιδήματος, που θα μπορούσε να επιβραδύνει σημαντικά τον ρυθμό πρόσληψης του αζώτου από το αίμα. Γενικά είναι πιθανόν να έχετε ακούσει από έμπειρους δύτες ότι κάποια στιγμή στην ζωή τους είχαν κάποιο επεισόδιο νάρκωσης. Εντούτοις, υπάρχει μια «εξομολόγηση» από έναν παγκόσμιο πρωταθλητή ελεύθερης κατάδυσης στον οποίο η νάρκωση αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της καθόδου σε 160 μέτρα και επηρέασε το πρώτο μισό της ανάδυσης του. Η διάγνωση της νάρκωσης του αζώτου επιβεβαιώθηκε σε αυτήν την περίπτωση από βίντεο που παρουσιάζει τον δύτε να έχει σοβαρές δυσκολίες να ανοίξει την βαλβίδα της φιάλης για να φουσκώσει το μπαλόνι ανάδυσης.

Μοιραία περιστατικά:

Ένα κοινό πρόβλημα στην αιτιολόγηση των μοιραίων ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της ελεύθερης κατάδυσης είναι ότι η επίσημη αιτία του θανάτου παρατίθεται συχνά ως «πνιγμός». Μερικές φορές περισσότερες πληροφορίες είναι διαθέσιμες από τους αυτόπτες μάρτυρες που μπορεί να έχουν παρατηρήσει το θύμα να υπεραερίζεται έντονα πριν από την κατάδυση ή να παθαίνει black out κατά τη διάρκεια της ανάδυσης κοντά στην επιφάνεια μετά από μια βαθιά ή μεγάλης διάρκειας βουτιά. Ο πιο συχνός πνιγμός είναι αυτός λόγω απώλειας συνείδησης (black out) κατά την ανάδυση (ως αποτέλεσμα της υποξίας μετά από τον υπερβολικό υπεραερισμό), με κυρίως θύματα τους ερασιτέχνες υποβρύχιους κυνηγούς.

Παρότι, η ελεύθερη κατάδυση τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σημαντικά με πολλούς αθλητές και λάτρεις του αθλήματος, τα περισσότερα θύματα έρχονται από τον χώρο της υποβρύχιας αλιείας σε αντίθεση με τους αθλητές της ελεύθερης κατάδυσης όπου το ποσοστό πνιγμών έχει παραμείνει μέχρι τώρα εντυπωσιακά χαμηλό. Τα δύο πιο γνωστά περιστατικά θανάτου στον αγωνιστικό χώρο της ελεύθερης κατάδυσης οφείλονταν σε τεχνικές αστοχίες του εξοπλισμού – στην πρώτη περίπτωση η αιτία αποδόθηκε σε εμπλοκή στο σχοινί ενώ στην άλλη δεν λειτούργησε επιτυχώς το μπαλόνι ανάδυσης. Ακόμα υπάρχουν και ανεξήγητες περιπτώσεις θανάτων, ιδιαίτερα μεταξύ των τουριστών ελεύθερης κατάδυσης (snorkelers). Μερικές από αυτές τις περιπτώσεις είναι αναμφισβήτητα αποτέλεσμα καρδιακής προσβολής που, ακόμα και εάν συνέβη λόγω καρδιακής αρρυθμίας, αυτό δεν μπορεί να εξακριβωθεί στην νεκροψία και έτσι θα καταγραφεί απλά ως «πνιγμός».

Μια ακόμα κατάσταση που δεν εξακριβώνεται μετά θάνατον από την νεκροψία είναι ο ίλιγγος εξίσωσης (alternobaric vertigo) στο οποίο οι ελεύθεροι δύτες στην προσπάθειά τους να εξισώσουν την πίεση στο αυτί τους (έσω ους) μπορεί να υποστούν ίλιγγο από την ξαφνική μεταβολή της βαρομετρικής πίεσης και να χάσουν τον προσανατολισμό τους.

Αυτό το σύνδρομο (σύνδρομο Lundgren) εκδηλώνεται με περιστροφικό ίλιγγο κατά τη διάρκεια της ανάδυσης και μπορεί, σε βαριές περιπτώσεις, να προκαλέσει τον αποπροσανατολισμό και τον εμετό. Η αιτία είναι η ασύμμετρη εξίσωση της πίεσης μεταξύ των δυο αυτιών. Ένας παράγοντας προδιάθεσης του συνδρόμου μπορεί να είναι ένα πρόσφατο βαροτραύμα στο αυτί καθώς επίσης και το ασύμμετρο οίδημα ή φλεγμονή των ευσταχιανών σαλπίνγων.

Στην περίπτωση του αυτόνομου δύτε, ο ίλιγγος εξίσωσης μπορεί να αντιμετωπιστεί ακόμη και σε μια βαριά περίπτωση με την παύση της ανάδυσης έως ότου υποχωρήσει ο ίλιγγος. Σε αντίθεση όμως, ένας ελεύθερος δύτες είναι σε πολύ πιο επικίνδυνη θέση εάν μάλιστα είναι ανίκανος να κολυμπήσει προς την σωστή κατεύθυνση λόγω του αποπροσανατολισμού και η επιλογή της παθητικής ανάδυσης στην επιφάνεια είναι αδύνατη λόγω της αρνητικής πλευστότητας.

Βιβλιογραφία

1. Collier CR, Dail CW, and Affeldt JE. Mechanics of glossopharyngeal breathing. *J Appl Physiol* 8: 580-584, 1956.
2. Ferrigno M, and Lundgren CEG. Breath-Hold Diving. In: Bennett and Elliott's *Physiology and Medicine of Diving*, edited by Brubakk AO, and Neuman T. New York: Saunders, 2003, p. 153-180
3. Ferrigno M, and Lundgren CEG. Human Breath-Hold Diving. In: *The Lung at Depth*, edited by Lundgren CEG, and Miller JN. Marcel Dekker, Inc., 1999, p. 529-585.
4. Lin YC, and Hong SK. Hyperbaria: breath-hold diving. In: *Handbook of Physiology, Environmental Physiology*. Bethesda, MD: Am. Physiol. Soc., 1996, p. chapt. 42, p. 979-995.
5. Muth CM, Ehrmann U, and Radermacher P. Physiological and clinical aspects of apnea diving. *Clin Chest Med* 26: 381-394, v, 2005.