

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ REVIEW

Υπερβαρική οξυγονοθεραπεία Μια σύγχρονη συμπληρωματική θεραπεία στη διαχείριση ποικίλων κλινικών παθήσεων

Η θεραπεία με υπερβαρικό οξυγόνο (ΘΥΒΟ) είναι μια διαδικασία θεραπείας που περιλαμβάνει εισπνοή 100% οξυγόνου ορισμένης διάρκειας σε πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Η θεραπεία πραγματοποιείται σε θάλαμο επαναπίεσης, είτε μονόχωρο (ένα άτομο), είτε πολύχωρο (ταυτόχρονα πολλοί ασθενείς). Θεωρείται αποτελεσματική μέθοδος θεραπείας, ενώ ταυτόχρονα παραμένει μια χρήσιμη επιλογή στη διαχείριση ποικίλων κλινικών καταστάσεων, τόσο σε οξείες όσο και σε χρόνιες παθήσεις. Η εφαρμογή της θεραπείας αποσκοπεί σε αύξηση του ιστικού διαθέσιμου οξυγόνου, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των ιστών, την αντιμετώπιση της λοίμωξης και την ταχύτερη αποκατάσταση των ιστικών βλαβών από πλήθος νοσημάτων και τραυματισμών. Παθοφυσιολογικά, ο μηχανισμός δράσης της φαίνεται να εμφανίζει αξιοσημείωτη αντιφλεγμονώδη δράση ενισχύοντας το ανοσοποιητικό σύστημα στην καταπολέμηση των μικροοργανισμών, ενώ παράλληλα προάγεται ο μηχανισμός επούλωσης του οργανισμού, ιδιαίτερα της νεοαγγειογένεσης. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της ενδέχεται να εμφανιστούν επιπλοκές, με κυριότερες το βαρότραυμα και την τοξικότητα οξυγόνου, οι οποίες αντιμετωπίζονται κατάλληλα από το εξειδικευμένο ιατρονοσηλευτικό προσωπικό. Στην Ελλάδα, το Πολεμικό Ναυτικό έχει διαδραματίσει πρωταγωνιστικό ρόλο στην εισαγωγή και εξέλιξη της ΘΥΒΟ. Η Μονάδα Καταδυτικής και Υπερβαρικής Ιατρικής του Ναυτικού Νοσοκομείου Αθηνών διαθέτει ένα από τα πλέον εξελιγμένα συστήματα θαλάμων επαναπίεσης παγκοσμίως, κατάλληλα καταρτισμένο ιατρονοσηλευτικό προσωπικό, ενώ κατέχει εξέχουσα θέση σε θέματα της υπερβαρικής επιστήμης διεθνώς. Παράλληλα, τα τελευταία έτη οι μονάδες ΘΥΒΟ στον ελλαδικό χώρο έχουν αυξηθεί, ενώ η ανάπτυξη περισσότερων είναι καθοριστικής σημασίας για την κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού, για μεγαλύτερη ανάπτυξη του καταδυτικού τουρισμού και για περισσότερο ποιοτική παροχή υπηρεσιών υγείας ασθενών σε υπερβαρικές συνθήκες.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υπερβαρική οξυγονοθεραπεία (ΘΥΒΟ) είναι μια μέθοδος θεραπείας κατά την οποία ένας ασθενής αναπνέει κατά διαστήματα 100% οξυγόνο (O_2), σε πίεση περιβάλλοντος μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής.¹ Η θεραπεία πραγματοποιείται σε θάλαμο επαναπίεσης (ΘΕ), είτε μονόχωρο (ένα άτομο), είτε πολύχωρο (τυπικά 2–14 ασθενείς). Οι πιέσεις που εφαρμόζονται στον ΘΕ είναι συνήθως 2–3 απόλυτες ατμόσφαιρες (ATA), ενώ η χρονική διάρκεια των θεραπειών είναι συνήθως 90–120 min και ο αριθμός των συνεδριών ποικίλλει από 1–3 φορές ανά ημέρα, ανάλογα με τον ασθενή και την κλινική του ένδειξη.² Ως απόλυτη ατμόσφαιρα καλείται μια τιμή που ενσωματώνει τη συνολική πίεση η

οποία ασκείται στο σώμα και αποτελείται από το άθροισμα της πίεσης μίας ατμόσφαιρας που δέχεται το σώμα στην επιφάνεια της θάλασσας και της επί πλέον πίεσης η οποία ασκείται εντός του ΘΕ κατά την εξομοίωση της υδροστατικής πίεσης.³ Η συνήθης ελάχιστη αποδεκτή πίεση για κλινική θεραπεία είναι 1,4 ατμόσφαιρες απόλυτης πίεσης. Η χορήγηση O_2 γίνεται μέσω μάσκας (full-face mask) ή κράνους (hood), ενώ εάν πρόκειται για διασωληνωμένο ασθενή μέσω ενδοτραχειακού σωλήνα (endotracheal tube).⁴

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη τεκμηριωμένη θεραπευτική χρήση πίεσης έγινε το 1662, όταν ο Henshaw, ένας Βρετανός ιατρός,

ΑΡΧΕΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ 2024, 41(2):166–174
ARCHIVES OF HELLENIC MEDICINE 2024, 41(2):166–174

Κ. Αθανασίου,¹
Β.Ν. Καλέντζος,¹
Ε. Βαλής,¹
Μ. Κελέση,²
Γ. Βασιλόπουλος,²
Ι. Καλεμικεράκης²

¹Μονάδα Καταδυτικής και Υπερβαρικής Ιατρικής, Ναυτικό Νοσοκομείο Αθηνών, Αθήνα

²Τμήμα Νοσηλευτικής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα

Hyperbaric oxygen therapy:
A modern method as adjunctive
therapy in the management
of various clinical complications

Abstract at the end of the article

Λέξεις ευρετηρίου

Θάλαμος επαναπίεσης
Υπερβαρική οξυγονοθεραπεία
Υπερβαρικό οξυγόνο

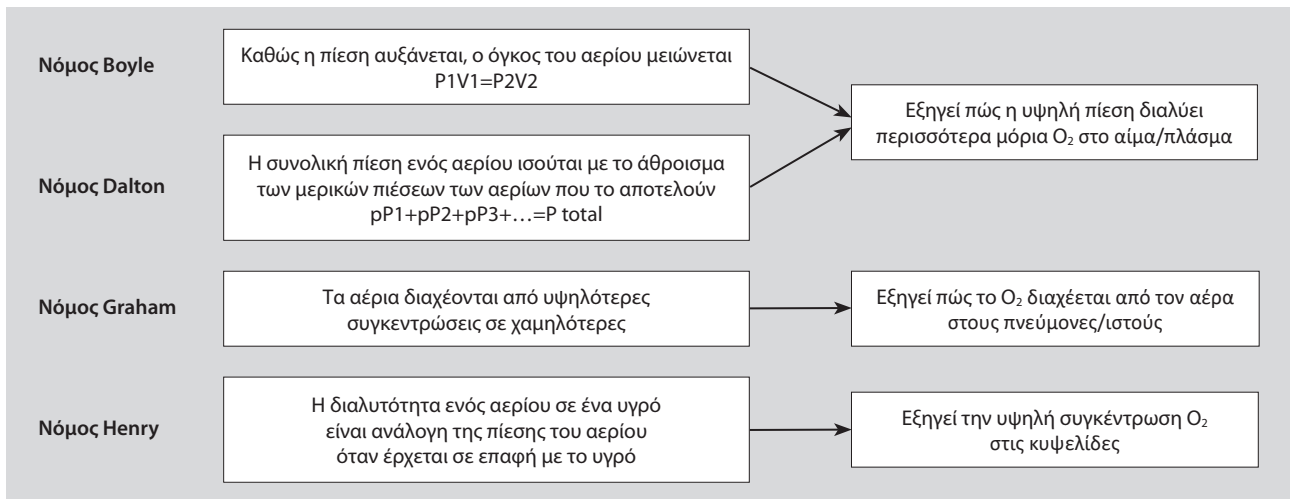
Υποβλήθηκε 9.5.2023
Εγκρίθηκε 31.5.2023

χρησιμοποίησε για πρώτη φορά πεπιεσμένο αέρα για την αύξηση της πίεσης του περιβάλλοντα χώρου τοποθετώντας ασθενείς σε ατσάλινο σφραγισμένο θάλαμο, δίνοντάς του την ονομασία "Domicilium".⁵ Την ίδια περίπου περίοδο ο Ιρλανδός φυσικός και χημικός Robert Boyle διατύπωνε έναν από τους τρεις νόμους των αερίων, που προς τιμήν του έλαβε το όνομα «Νόμος του Boyle», σύμφωνα με τον οποίο σε σταθερή θερμοκρασία ο όγκος και η πίεση ενός αερίου μεταβάλλονται αντιστρόφως ανάλογα, θέτοντας τις βάσεις για την κατανόηση της συμπεριφοράς των αερίων, που μαζί με τους νόμους των Dalton, Graham και Henry ερμηνεύουν τον μηχανισμό δράσης της μεθόδου κατά τη διάρκεια της ΘΥΒΟ (εικόνες 1, 2).^{6,7}

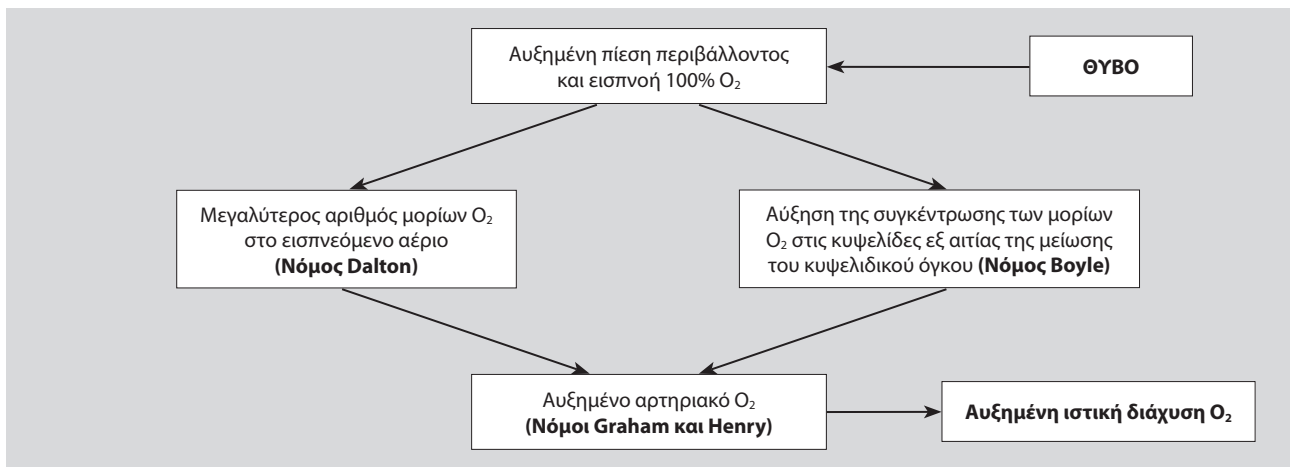
Το 1775, ο Priestly ανακάλυψε το O₂. Από το 1789 ο πεπιεσμένος αέρας αντικαταστάθηκε με O₂ περιεκτικότητας

100% σε περιβάλλον αυξημένης πίεσης, αλλά αυτό έγινε πολύ προσεκτικά. Ο λόγος ήταν ότι οι Lavoisier και Seguin είχαν υποψιαστεί τις τοξικές επιδράσεις που προκαλούνται από την υψηλή συγκέντρωση O₂ στον ανθρώπινο οργανισμό. Περίπου 100 έτη μετά, το 1878, ο Paul Bert (θεωρείται ο πατέρας της υπερβαρικής φυσιολογίας) δημοσίευσε τις τοξικές επιδράσεις του υπερβαρικού οξυγόνου (ΥΒΟ) στο κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ). Ωστόσο, τα ευρήματά του χρειάστηκαν αρκετό χρόνο για να γίνουν αποδεκτά από την ιατρική κοινότητα.⁸

Από το 1860 και έπειτα διάφοροι υπερβαρικοί θάλαμοι (ΥΘ) κατασκευάζονταν παγκοσμίως. Ο ιατρός Cunningham απέκτησε μεγάλη φήμη κατασκευάζοντας στο Kansas City των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (ΗΠΑ) τον πιο γνωστό και χρησιμοποιούμενο ΥΘ το 1921, ο οποίος



Εικόνα 1. Νόμοι των ιδανικών αερίων.⁷



Εικόνα 2. Επιπτώσεις της θεραπείας με υπερβαρικό οξυγόνο (ΘΥΒΟ) βασισμένη στους νόμους των ιδανικών αερίων.⁷

ήταν ο μόνος επιχειρησιακός θάλαμος στον κόσμο έως το 1925. Τοποθέτησε στον θάλαμο για ΘΥΒΟ ασθενείς με διάφορες παθήσεις, όπως κυάνωση και κώμα, σύφιλη, υπέρταση, σακχαρώδη διαβήτη και αναερόβιες λοιμώξεις. Στη συνέχεια, το 1928, στο Cleveland του Ohio των ΗΠΑ ο ίδιος ιατρός κατασκεύασε τον μεγαλύτερο θάλαμο παγκοσμίως, συνολικού κόστους ενός εκατομμυρίου \$. Η ονομασία του ήταν "Cunningham's sanitarium", έμοιαζε με μεταλλική σφαίρα διαμέτρου 12 m, ζύγιζε 900 τόνους και διέθετε 5 ορόφους και 60 δωμάτια. Δυστυχώς, ο Cunningham αρνήθηκε να τεκμηριώσει τους ισχυρισμούς του σχετικά με τις παθήσεις που θεράπευε, με αποτέλεσμα να χαρακτηριστεί ως απατεώνας από το Γραφείο Ερευνών της Αμερικανικής Ιατρικής Ένωσης και ο θάλαμος να διακόψει τη λειτουργία του μερικά χρόνια αργότερα.^{5,9}

Το 1937, οι Behnke και Shaw χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά με επιτυχία το ΥΒΟ στη θεραπεία ασθενών με νόσο της αποσυμπίεσης,⁸ καθώς αντικατέστησαν τον πεπιεσμένο αέρα με O_2 , δημιουργώντας τον δικό τους ΥΘ, ενώ παράλληλα άνοιξε ο δρόμος για τη δημιουργία και εισαγωγή μείγματος Nitrox (άζωτο-οξυγόνο) σε σοβαρής μορφής νόσο των δυτών.⁶ Το 1955, ο Churchill-Davidson εφάρμοσε ΘΥΒΟ σε καρκινοπαθείς ασθενείς για την ενίσχυση των αποτελεσμάτων της ακτινοθεραπείας, ενώ την ίδια περίοδο ο Boerema ανέπτυξε τη ΘΥΒΟ ως συμπληρωματική θεραπεία στην Καρδιοχειρουργική, παρατείνοντας με αυτόν τον τρόπο τον χρόνο στη διακοπή της κυκλοφορίας του αίματος. Το 1961 η ΘΥΒΟ χρησιμοποιήθηκε σε ασθενείς με αναερόβιες λοιμώξεις και το 1965 οι Wada και Ikeda εφάρμοσαν ΘΥΒΟ σε μεταλλωρύχους ασθενείς με δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και εγκαύματα ολικού πάχους.^{6,8}

Το 1967 ιδρύεται η Υποβρύχια Κοινότητα Ιατρικής στις ΗΠΑ, ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός, στον οποίο οι επιστήμονες ασχολούνταν με τη μελέτη-υποστήριξη της φυσιολογίας του ανθρώπινου οργανισμού σε υποβαρικές (διάστημα) και υπερβαρικές (καταδύσεις) συνθήκες. Ο όρος «υπερβαρική» εισήχθη το 1987 και η επίσημη πλέον ονομασία είναι «Υποβρύχια Κοινότητα Υπερβαρικής Ιατρικής» (Undersea Hyperbaric Medical Society, UHMS). Ο οργανισμός αριθμεί χιλιάδες μέλη σε πάρα πολλές χώρες παγκοσμίως, εδρεύει στη Florida των ΗΠΑ και ασχολείται με την ανάλυση των επιστημονικών δεδομένων της βασισμένης σε ενδείξεις Ιατρικής σχετικά με τη ΘΥΒΟ.^{5,9,10}

3. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΗΣ

Η ΘΥΒΟ περιλαμβάνει δύο κύριους μηχανισμούς δράσης: (α) την υπεροξυγόνωση των υποξικών ιστών με την αύξηση της συγκέντρωσης του O_2 στο αίμα και στο πλάσμα, σύμφωνα με τον νόμο του Henry, με αποτέλεσμα αλλαγές

σε βιοχημικό και κυτταρικό επίπεδο και (β) τη μείωση του μεγέθους των φυσαλίδων αέρα στο αίμα ως αποτέλεσμα της αυξημένης βαρομετρικής πίεσης, ακολουθώντας τον νόμο του Boyle.¹⁷ Στο επίπεδο της θάλασσας ο αέρας περιέχει 21% O_2 και σύμφωνα με τον νόμο του Dalton η μερική πίεση του O_2 υπολογίζεται σε 160 mmHg. Ως αποτέλεσμα αυτού, ένας μέσος φυσιολογικός άνθρωπος που αναπνέει αέρα έχει κατά προσέγγιση 97,5% κορεσμό της αιμοσφαιρίνης με O_2 και 20 mL O_2 ανά 100 mL αίματος, από τα οποία μόνο 0,3 mL βρίσκονται διαλυμένα στο πλάσμα. Μόνο το 25% του εν λόγω ποσού O_2 χρησιμοποιείται από τους ιστούς, δηλαδή 250 mL διαλυμένο O_2 στα 5 L αίματος που διαθέτει ο οργανισμός. Η αύξηση της συγκέντρωσης του εισπνεόμενου O_2 από μόνη της θα έχει ελάχιστη επίδραση στην περιεκτικότητα του αίματος σε O_2 , καθώς αυτή εξαρτάται από την αιμοσφαιρίνη (97% περίπου κορεσμένη) και τη διαλυτότητα του O_2 στο αίμα, καθοριζόμενη από τη μέγιστη δυνατή μερική πίεση εισπνεόμενου O_2 . Σε υπερβαρικές συνθήκες και σε πίεση 2,8 ATA με εισπνοή 100% O_2 έχει υπολογιστεί ότι 6 mL O_2 περιέχονται διαλυμένα ανά 100 mL πλάσματος (300 mL διαλυμένο O_2 σε 5 L αίματος), ποσότητα ικανή για την επίτευξη των μεταβολικών λειτουργιών του οργανισμού.¹² Συνεπώς, η δημιουργία υπερβαρικού περιβάλλοντος και η αύξηση της μερικής εισπνευστικής πίεσης O_2 στον ανθρώπινο οργανισμό επιτρέπει μια σημαντική αύξηση O_2 στο αίμα (υπεροξαιμία) και στους ιστούς (υπεροξία), ακόμη και χωρίς τη συμβολή της αιμοσφαιρίνης.¹¹

Σε βιοχημικό και κυτταρικό επίπεδο, η ΘΥΒΟ φαίνεται να εμφανίζει αντιμικροβιακές επιδράσεις έναντι των παθογόνων μικροοργανισμών, είτε άμεσα είτε έμμεσα, ενισχύοντας το ανοσοποιητικό σύστημα και τα μακροφάγα και εμφανίζοντας συνεργατική δράση με τα αντιβιοτικά.¹³ Συστηματική ανασκόπηση παρουσιάζει τις θετικές επιδράσεις της ΘΥΒΟ στους δείκτες του οξειδωτικού stress, της φλεγμονής και της νεοαγγειογένεσης στους ανθρώπους. Πιο συγκεκριμένα, η ΘΥΒΟ φαίνεται να εμφανίζει μια αξιοσημείωτη έντονη αντιφλεγμονώδη δράση, ενώ παράλληλα διεγείρει την απελευθέρωση κυτταροκινών και αυξητικών παραγόντων για την προαγωγή της νεοαγγειογένεσης και της επούλωσης (πίν. 1).^{14,15}

4. ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ

Η UHMS έχει καθορίσει 14 ενδείξεις για ΘΥΒΟ, οι οποίες είναι: (α) αρτηριακή εμβολή αέρα (ή άλλου αερίου), (β) δηλητηρίαση με μονοξείδιο άνθρακα και δηλητηρίαση με μονοξείδιο άνθρακα σε συνδυασμό με κυανιούχα, (γ) κλωστηριδιακή μυονέκρωση ή μυοσίτιδα (αεριογόνος γάγγραινα), (δ) συνθλιπτικές κακώσεις, σύνδρομο διαμερίσματος και άλλες περιπτώσεις οξείας ισχαιμίας τραυματικής

Πίνακας 1. Βιοχημικές αλλαγές σε κυτταρικό επίπεδο εξ αιτίας της θεραπείας με υπερβαρικό οξυγόνο (ΘΥΒΟ).¹⁵

Βιοχημικές αλλαγές
Διεγείρει τον μηχανισμό αγγειογένεσης και προάγει την επούλωση των τραυμάτων
Αυξάνει την περιεκτικότητα των ιστών σε O ₂ , με αποτέλεσμα τον θάνατο των αναερόβιων μικροβίων
Εμποδίζει την παραγωγή της κλωστηριδικής α τοξίνης και των ειδών ψευδομονάδας
Ενισχύει τα ουδετερόφιλα στην καταπολέμηση των βακτηρίων
Μειώνει την προσκόλληση των λευκοκυττάρων στη βλάβη από επαναϊμάτωση
Εμποδίζει τη δημιουργία ελεύθερων ριζών και πρωτεασών, που προκαλεί η αγγειοσύσπαση και οι κυτταρικές βλάβες μετά από τραυματισμό

αιτιολογίας, (ε) νόσος εξ αποσυμπίεσης (νόσος δυτών), (στ) αρτηριακή ανεπάρκεια, περιλαμβανομένης της κεντρικής απόφραξης αρτηρίας αμφιβληστροειδούς, και ενίσχυση της επούλωσης σε επιπλεγμένα τραύματα, (ζ) μεγάλη απώλεια αίματος (αναιμία), (η) ενδοκρανικό απόστημα, (θ) νεκρωτικές λοιμώξεις μαλακών μορίων, (ι) οστεομυελίτιδα (ανθεκτική), (κ) καθυστερημένες μετακτινικές διαταραχές (μαλακά μόρια και οστεονέκρωση), (λ) δερματικά μωσχέυματα (επιπλεγμένα), (μ) θερμικό έγκαυμα και (ν) ιδιοπαθής αιφνίδια νευροαισθητήρια βαρηκοΐα.¹⁶

Η Ευρωπαϊκή Εταιρεία Υπερβαρικής Ιατρικής (European Committee on Hyperbaric Medicine, ECHM), μετά από ειδική διάσκεψη στη Lille (Γαλλία) τον Απρίλιο του 2016, επικαιροποίησε τη δική της λίστα ενδείξεων για ΘΥΒΟ, με βάση μια ενδελεχή ανασκόπηση της βέλτιστης διαθέσιμης έρευνας και της βασισμένης σε ενδείξεις Ιατρικής (evidence based medicine) (πίν. 2). Ειδικοί εμπειρογνώμονες διαχώρισαν τις ενδείξεις σε τρεις τύπους (τύπος 1: η ΘΥΒΟ ενδείκνυται έντονα ως κύρια μέθοδος θεραπείας, καθώς υποστηρίζεται από αρκετά ισχυρά στοιχεία. Τύπος 2: η ΘΥΒΟ προτείνεται, καθώς υποστηρίζεται από αποδεκτά επίπεδα ενδεικτικών στοιχείων και τύπος 3: η ΘΥΒΟ μπορεί να θεωρηθεί ως πιθανό/προαιρετικό μέτρο, αλλά δεν υποστηρίζεται ακόμη από επαρκώς ισχυρά στοιχεία) και για κάθε τύπο ελήφθησαν υπ' όψιν τρία επίπεδα αποδεικτικών στοιχείων (Α: ο αριθμός των τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων δοκιμών [RCT's] θεωρείται επαρκής, Β: υπάρχουν ορισμένες RCT's υπέρ της ένδειξης καθώς και έντονη συναίνεση των ειδικών, C: οι συνθήκες δεν επιτρέπουν σωστές RCT's, αλλά υπάρχει έντονη και διεθνής συναίνεση εμπειρογνώμωνων), ενώ παράλληλα η επιτροπή για πρώτη φορά εξέδωσε αρνητικές συστάσεις για καταστάσεις όπου τα ενδεικτικά στοιχεία συνηγορούν για την αντένδειξη της ΘΥΒΟ.¹⁷

5. ΕΠΙΠΛΟΚΕΣ – ΑΝΤΕΝΔΕΙΞΕΙΣ

Οι πλέον συχνές επιπλοκές της θεραπείας συνήθως συμβαίνουν είτε εξ αιτίας της αλλαγής της βαρομετρικής πίεσης (βαρότραυμα) είτε, σπανιότερα, λόγω της τοξικότητας από O₂ (1:10.000 περιστατικά).¹⁸ Η περίπτωση του βαροτραύματος μπορεί να οριστεί ως ένας τραυματισμός που συμβαίνει από αδυναμία του οργανισμού να εξισώσει την πίεση μιας κοιλότητας που περιέχει αέρα με την πίεση του περιβάλλοντα χώρου. Το πιο συχνό βαρότραυμα συμβαίνει στο μέσο ους, αλλά πιθανόν να παρατηρηθεί και σε άλλα όργανα, όπως παραρρίνιους κόλπους, δόντια και πνεύμονες. Σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις ο γαστρεντερικός σωλήνας ενδέχεται να υποστεί ρήξη κατά τη συμπίεση, λόγω παγίδευσης αέρα μετά από κατάποση.¹⁹

Η τοξική φύση του O₂ συχνά υποτιμάται. Καθώς δίνεται σε περιεκτικότητα 100%, πιθανόν να εμφανιστούν σημεία τοξικότητας (φαινόμενο Paul Bert) και να επηρεαστεί το ΚΝΣ. Συνήθη συμπτώματα είναι δυσφορία, ζάλη, παραισθησίες άκρων και σωληνωτή όραση, τα οποία αντιμετωπίζονται με αφαίρεση της μάσκας, διακοπή χορήγησης O₂ 100% και εισπνοή αέρα για μερικά λεπτά, συνήθως 5–10 min. Οι επιληπτικές κρίσεις τοξικότητας O₂ (σπασμοί Grand Mal) είναι σπάνιες, με αναφερόμενη συχνότητα εμφάνισης 0,01–0,06% για θεραπείες «ρουτίνας», όμως παραμένουν η πλέον σοβαρή επιπλοκή γιατί οδηγούν σε αρνητικά επακόλουθα στο γνωσιακό επίπεδο του ασθενούς και αποφεύγονται με διαλείμματα στη χορήγηση O₂ 100% και περιορισμό της μέγιστης πίεσης που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της θεραπείας.^{20,21} Η πνευμονική τοξικότητα (Lorrain-Smith) O₂ παραμένει πάντα ως θεωρητικός προβληματισμός, όμως πρακτικά δεν εμφανίζεται στην κλινική πράξη.¹² Αναδρομική μελέτη ανάλυσης αποτελεσμάτων αναφέρει μία περίπτωση πνευμονικής τοξικότητας σε 1,5 εκατομμύριο συνεδρίες.²² Οφθαλμολογικές εκδηλώσεις έχουν αναφερθεί, όπως υπερβαρική μυωπία, που εμφανίζεται παροδικά μετά από μεγάλο αριθμό συνεδριών αλλά είναι αναστρέψιμη και παρέρχεται μετά τη διακοπή της θεραπείας, καταρράκτης συνήθως σε ασθενείς προχωρημένης ηλικίας ή με σχετική προδιάθεση, κερατόκωνος, ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας²³ και αμφιβληστροειδοπάθεια της προωρότητας σε πρόωρα βρέφη, στις σπάνιες περιπτώσεις όπου έγκυες ασθενείς εκτίθενται στη ΘΥΒΟ.²⁴

Απόλυτη αντένδειξη για συνεδρία είναι ο μη θεραπευμένος πνευμοθώρακας, γιατί μπορεί να εξελιχθεί σε πνευμοθώρακα υπό τάση κατά την άνοδο, κατάσταση άμεσα απειλητική για τη ζωή του ασθενούς. Επί πλέον, η ταυτόχρονη χρήση δοξορουβικίνης μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο καρδιοτοξικότητας, η μπλεομυκίνη πιθανόν να προκαλέσει διάμεση πνευμονίτιδα και ίνωση και η δι-

Πίνακας 2. Συστάσεις σχετικά με τις αποδεκτές ενδείξεις για θεραπεία με υπερβαρικό οξυγόνο (ΘΥΒΟ).¹⁷

Πάθηση	Επίπεδο ενδεικτικών στοιχείων	Επίπεδο συμφωνίας
<i>Τύπος 1 – Ισχυρή ένδειξη</i>		
Δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	B	Ισχυρή σύσταση
Ανοικτό κάταγμα με σύνδρομο σύνθλιψης	B	Ισχυρή σύσταση
Πρόληψη οστεοραδιονέκρωσης γνάθου μετά από εξαγωγή δοντιού	B	Ισχυρή σύσταση
Θεραπεία οστεοραδιονέκρωσης γνάθου	B	Ισχυρή σύσταση
Ραδιονέκρωση (ή ακτινονέκρωση) μαλακών μορίων (κυστίτιδα, πρωκτίτιδα)	B	Ισχυρή σύσταση
Καταδυτική νόσος	C	Ισχυρή σύσταση
Εμβολή αέρα	C	Ισχυρή σύσταση
Αναερόβιες ή μεικτές βακτηριακές λοιμώξεις	C	Ισχυρή σύσταση
Αιφνίδια κώφωση	B	Ισχυρή σύσταση
<i>Τύπος 2 – Ένδειξη</i>		
Διαβητικά έλκη κάτω άκρων	B	Ισχυρή σύσταση
Νέκρωση κεφαλής μηριαίου	B	Ισχυρή σύσταση
Επαπειλούμενα δερματικά-μυοδερματικά μοσχεύματα	C	Ισχυρή σύσταση
Απόφραξη κεντρικής αρτηρίας αμφιβληστροειδούς	C	Ισχυρή σύσταση
Σύνδρομο σύνθλιψης χωρίς κάταγμα	C	Σύσταση
Οστεοραδιονέκρωση (άλλα οστά)	C	Σύσταση
Ραδιονέκρωση μαλακών μορίων (εκτός από κυστίτιδα, πρωκτίτιδα)	C	Σύσταση
Χειρουργείο και προθέματα σε ακτινοβολημένους ιστούς (προληπτικά)	C	Σύσταση
Ισχαιμικό έλκος	C	Σύσταση
Χρόνια οστεομυελίτιδα (ανθεκτική)	C	Σύσταση
Έγκαυμα 2ου βαθμού >20% ολικής επιφάνειας σώματος	C	Σύσταση
Κυστική πνευμάτωση εντέρου	C	Σύσταση
Νευροβλάστωμα (σταδίου IV)	C	Σύσταση
<i>Τύπος 3 – Προαιρετική</i>		
Τραυματισμός εγκεφάλου (οξύς ή χρόνιας, χρόνιο εγκεφαλικό επεισόδιο, ανοξική εγκεφαλοπάθεια)	C	Σύσταση
Ραδιονέκρωση λάρυγγα	C	Σύσταση
Μετακτινικές διαταραχές ΚΝΣ	C	Σύσταση
Σύνδρομο επαναιμάτωσης μετά από αγγειοχειρουργική παρέμβαση	C	Σύσταση
Επανασυγκόλληση σκέλους	C	Σύσταση
Επιπλεγμένα φλεγμονώδη χρόνια έλκη	C	Σύσταση
Δρεπανοκυτταρική αναιμία	C	Σύσταση
Διάμεση κυστίτιδα	C	Σύσταση

ΚΝΣ: Κεντρικό νευρικό σύστημα

σουλφιράμη μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο τοξικότητας O₂, καταστάσεις στις οποίες οι ασθενείς χρήζουν ιδιαίτερης παρακολούθησης.²⁵

Σχετικές αντενδείξεις αποτελούν τα εξής: (α) όλες οι λοιμώξεις του ανώτερου αναπνευστικού, γιατί μπορεί να προκαλέσουν βαρότραυμα ωτός, παραρρινίων και πνεύμονα, (β) ασθενείς με χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια,

άσθμα ή άλλες σοβαρές παθολογικές καταστάσεις του πνεύμονα, κύστες με αέρα ή φλύκταινες στην ακτινογραφία θώρακα θα πρέπει να υποβάλλονται σε εξετάσεις πριν από τη θεραπεία, επειδή αυξάνεται ο κίνδυνος πρόκλησης υπερκαπνίας ή και βαροτραύματος πνεύμονα με επακόλουθη εμβολή αέρα, (γ) ιστορικό πνευμοθώρακα, προηγούμενο χειρουργείο σε θώρακα, τράχηλο, αυτιά και μύτη, λόγω

πιθανής πρόκλησης βαροτραύματος, (δ) μη ελεγχόμενος υψηλός πυρετός, ο οποίος αυξάνει τον κίνδυνο τοξικότητας O₂, (ε) ιστορικό επιληψίας (αύξηση κινδύνου τοξικότητας O₂), (στ) οπτική νευρίτιδα, (ζ) σε ασθενείς με βηματοδότη ή οποιαδήποτε εμφυτεύσιμη συσκευή θα πρέπει πρώτα να ελέγχεται η ασφάλεια των συσκευών πριν από τη συνεδρία, (η) σε ασθενείς με μειωμένο κλάσμα εξώθησης ή καρδιακή ανεπάρκεια ενδέχεται να προκληθούν σοβαρό πνευμονικό οίδημα ή άλλες καρδιαγγειακές διαταραχές, (θ) κλειστοφοβία, γιατί οι ασθενείς εκδηλώνουν αυξημένο stress και διακόπτουν τη θεραπεία, αδυνατώντας να παραμείνουν έγκλειστοι στον θάλαμο,²⁶ (ι) εγκυμονούσες ασθενείς, εκτός και αν πρόκειται για απειλητική για τη ζωή τους (ή του εμβρύου) δηλητηρίαση από CO,²⁷ (κ) ασθενείς με σακχαρώδη διαβήτη, οι οποίοι θα πρέπει να παρακολουθούνται για το ενδεχόμενο εμφάνισης σοβαρής υπογλυκαιμίας κατά τη θεραπεία.²⁸ Συνοπτική παρουσίαση των επιπλοκών και των αντενδείξεων παρουσιάζονται στον πίνακα 3.²⁹

6. ΥΠΕΡΒΑΡΙΚΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ Ή ΘΑΛΑΜΟΣ ΕΠΑΝΑΠΙΕΣΗΣ

Ο ΥΘ είναι ο χώρος στον οποίο πραγματοποιείται η κάθε συνεδρία, ομοιάζει συνήθως με υποβρύχιο ή καταδυτικό σκάφος και έχει σχήμα κυλινδρικό, για να είναι ανθεκτικός στην αυξημένη πίεση. Το είδος, το μέγεθος και η αντοχή στην πίεση διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων τύπων. Σε γενικές γραμμές υπάρχουν δύο κύριοι τύποι θεραπευτικών θαλάμων, οι μονόχωροι και οι πολύχωροι. Οι ασθενείς εντός του ΥΘ παρακολουθούνται από το εξειδικευμένο ιατρονοσηλευτικό προσωπικό με άμεσο οπτικό έλεγχο, με συσκευές παρακολούθησης εντός και εκτός θαλάμου και με συστήματα ενδοεπικοινωνίας δύο κατευθύνσεων που υπάρχουν σε όλους τους τύπους θαλάμων. Η σοβαρότητα της κατάστασης και η νόσος του κάθε ασθενούς καθορίζουν το επίπεδο παρακολούθησης.

Οι μονόχωροι θάλαμοι είναι περισσότερο διαδεδομένοι, κυρίως στις ΗΠΑ. Είναι κατασκευασμένοι κυρίως από ακρυλικό υλικό, για να επιτρέπεται η άμεση οπτική επαφή με τον ασθενή. Η συμπίεση συμβαίνει με δύο τρόπους: (α) Με καθαρό O₂, οπότε ο ασθενής αναπνέει ελεύθερα στον χώρο χωρίς μάσκα (υπάρχει μάσκα για εισπνοή αέρα και αποφυγή τοξικότητας O₂) και (β) με αέρα, όπου ο ασθενής αναπνέει O₂ μέσω μάσκας ή κράνους. Επί πλέον, μπορεί να εξοπλιστούν με αναπνευστήρα για υποστήριξη διασωληνωμένου ασθενούς και με θύρες ενδοφλέβιας διέλευσης για να επιτρέπονται συνεχείς εγχύσεις φαρμάκων. Πλεονεκτούν στο ότι προσφέρουν εξατομικευμένη θεραπεία των ασθενών, είναι ιδανικοί για μονάδες εντατικής θεραπείας (ΜΕΘ), είναι ιδεώδης λύση για άτομα καθηλωμένα στο κρεβάτι, δεν

Πίνακας 3. Επιπλοκές – αντενδείξεις από τη θεραπεία με υπερβαρικό οξυγόνο (ΘΥΒΟ).²⁹

Τύπος	Πάθηση
<i>Επιπλοκές</i>	
Εξ αιτίας αλλαγής της βαρομετρικής πίεσης	Βαρότραυμα μέσου ωτός Βαρότραυμα παραρρινίων κόλπων Πνευμονικό βαρότραυμα (πνευμοθώρακας, αιμόπτυση, υποδόριο εμφύσημα, πνευμομεσοθωράκιο, αρτηριακή εμβολή αερίου) Ρήξη κοιλότητας που περιέχει αέρα ή διαρροή αέρα (δόντια, γαστρεντερικός σωλήνας)
Εξαιτίας της τοξικότητας O ₂	Νευρολογικές διαταραχές: δυσφορία, ναυτία, έμετοι, μυϊκές συσπάσεις, υπαισθησίες, παραισθησίες, σπασμοί (Grand Mal) Διαταραχές πνευμόνων: επιδείνωση της πνευμονικής λειτουργίας, βήχας, δύσπνοια, πόνος στο στήθος Οπτικές διαταραχές: σωληνωτή όραση, υπερβαρική μυωπία, καταρράκτης μετά από παρατεταμένη θεραπεία
<i>Αντενδείξεις</i>	
Τύπος	Πάθηση
Απόλυτη	Μη θεραπευμένος πνευμοθώρακας Οξύς βρογχόσπασμος Ταυτόχρονη θεραπεία με δοξορουβικίνη ή μπλε-ομυκίνη
Σχετική	Λοίμωξη ανώτερου αναπνευστικού Αλλεργική ρινίτιδα Χρόνια ιγμορίτιδα και ωτίτιδα Χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια Ιστορικό πνευμοθώρακα ή χειρουργείο στον θώρακα Ιστορικό ωτορινολαρυγγολογικής χειρουργικής επέμβασης Ιστορικό επιληψίας Υψηλός πυρετός Οπτική νευρίτιδα Μη ελεγχόμενη υπέρταση ή καρδιακή ανεπάρκεια Εγκυμοσύνη Κλειστοφοβία

απαιτείται χρήση μάσκας, επιτυγχάνεται οικονομία κόστους και χώρου, είναι δυνατή η μεταφορά του θαλάμου εντός του νοσοκομείου, απαιτείται λιγότερο προσωπικό και ο κίνδυνος διαρροής O₂ εντός του θαλάμου είναι σχετικά χαμηλός. Τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι ότι είναι αδύνατη η άμεση πρόσβαση στον ασθενή, υπάρχει έλλειψη χώρου για τους συνοδούς και ο κίνδυνος ανάφλεξης-πυρκαγιάς είναι αυξημένος σε περίπτωση διαρροής O₂.

Οι πολύχρωμοι θάλαμοι (ή θάλαμοι πολλαπλών θέσεων) υποστηρίζουν ταυτόχρονη θεραπεία πολλών ασθενών. Η συμπίεση γίνεται κατά κανόνα με αέρα και οι ασθενείς μεμονωμένα λαμβάνουν O_2 μέσω μάσκας ή κράνους. Μπορεί ακόμη να υπάρχει εγκατάσταση εγκεκριμένου εξοπλισμού (αναπνευστήρας, αναρρόφηση, αντλίες έγχυσης φαρμάκων) για υποστήριξη ασθενών σε κρίσιμη κατάσταση. Συνήθως διαθέτουν προθάλαμο και θυρίδες, μέσω των οποίων χορηγούνται φάρμακα, τροφές ή άλλα είδη απαραίτητα για την ολοκλήρωση της θεραπείας. Για τη λειτουργία τους (κανόνες ασφαλείας, τήρηση ιατρικών και νοσηλευτικών πρωτοκόλλων-οδηγιών, χειρισμός, φροντίδα-θεραπεία ασθενών) απαιτείται εξειδικευμένο ιατρονοσηλευτικό προσωπικό και κατά τη διάρκεια της συνεδρίας μπορεί να βρίσκεται εντός του θαλάμου συνοδός για επίλυση τυχόν προβλημάτων ή για φροντίδα βαρέως πάσχοντος ασθενούς. Πλεονεκτούν στο γεγονός ότι ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι σχετικά χαμηλός εξ αιτίας των συστημάτων πυρασφάλειας που διαθέτουν, η αύξηση της πίεσης μπορεί να είναι έως 6 ATA (σε ειδικές περιπτώσεις, όπως εμβολή αέρα και νόσο αποσυμπίεσης) και υπάρχει η δυνατότητα πραγματοποίησης περιορισμένων χειρουργικών επεμβάσεων εντός του θαλάμου. Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνονται στο ότι είναι βαριές μεταλλικές κατασκευές αυξημένου κόστους, καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο, παρουσιάζουν δύσκολη έως αδύνατη μετακίνηση, απαιτούν ειδική εγκατάσταση και το προσωπικό εκτίθεται σε υπερβαρικές συνθήκες, με ό,τι αυτό συνεπάγεται (αυξημένος κίνδυνος για βαρότραυμα, τοξικότητα O_2 , νόσο αποσυμπίεσης/εμβολής αέρα).³⁰⁻³²

7. ΘΕΡΑΠΕΙΑ ΜΕ ΥΠΕΡΒΑΡΙΚΟ ΟΞΥΓΟΝΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το Πολεμικό Ναυτικό έθεσε τις βάσεις για την εισαγωγή της ΘΥΒΟ στον ελλαδικό χώρο. Αν και η Ελλάδα είναι μια χώρα με εκτεταμένη ακτογραμμή και ο λαός της ασχολείτο με καταδύσεις από αρχαιότατων χρόνων, υπήρξαν εκατοντάδες περιστατικά αλλά και απώλειες από τη νόσο της αποσυμπίεσης. Παρ' όλα αυτά, δεν υπήρχε ΘΕ στη χώρα έως το 1957, όταν μετά την είσοδο της Ελλάδας στο NATO και τη δημιουργία ομάδας αμφίβιων αναγνωρίσεων εγκαταστάθηκε ο 1ος ΘΕ στο ναυαγοσωστικό πλοίο ανοικτής θαλάσσης του ΠΝ «ΣΩΤΗΡ». Το 1963, το Ναυτικό Νοσοκομείο Πειραιά απέκτησε έναν πολυθέσιο ΘΕ, ο οποίος το 1981 μεταφέρθηκε στο Ναυτικό Νοσοκομείο Σαλαμίνας.

Το 1997 τέθηκε σε λειτουργία η Μονάδα Καταδυτικής και Υπερβαρικής Ιατρικής (ΜΚΥΙ) στο Ναυτικό Νοσοκομείο Αθηνών (ΝΝΑ). Το 2004, η ΜΚΥΙ/ΝΝΑ εξοπλίστηκε με ένα υπερσύγχρονο και μοναδικό σύστημα πολύχρωμων θαλάμων σε παγκόσμιο επίπεδο και στελεχώθηκε με εξειδικευμένο

ιατρονοσηλευτικό προσωπικό, παρουσίασε σπουδαίο έργο και κατέχει εξέχουσα θέση σε θέματα Υπερβαρικής Ιατρικής διεθνώς. Η Μονάδα παρέχει ιατρονοσηλευτική φροντίδα σε όλα τα καταδυτικά ατυχήματα των ενόπλων δυνάμεων και των σωμάτων ασφαλείας της χώρας, ενώ καλύπτει καταδυτικά ατυχήματα πολιτών και αλλοδαπών περίπου στο 70% του ελλαδικού πληθυσμού. Παράλληλα, πραγματοποιούνται ΘΥΒΟ (περίπου 3.000 συνεδρίες ετησίως) σύμφωνα με τις διεθνείς ενδείξεις σε στρατιωτικό προσωπικό και πολίτες, δοκιμασίες πίεσης σε υποψήφιους δύτες των ενόπλων δυνάμεων, επιμορφωτικά σχολεία (και ξενόγλωσσα σε στρατιωτικό προσωπικό σύμμαχων χωρών) και ενημερώσεις-διαλέξεις σε στρατιωτικό προσωπικό και πολίτες. Έχει αναγνωριστεί ως κέντρο εκπαίδευσης για εξειδίκευση ιατρών στην Υπερβαρική Ιατρική (στρατιωτικοί και πολίτες ιατροί) και νοσηλευτών στην Υπερβαρική Νοσηλευτική (μόνο νοσηλευτές του Πολεμικού Ναυτικού). Τέλος, υπάρχει κλινική συνεργασία με σχεδόν όλα τα δημόσια νοσοκομεία της χώρας.

Ο ΘΕ του ΝΝΑ αποτελεί ένα εξελιγμένο και μοναδικό σύστημα παγκοσμίως, παρέχοντας ΘΥΒΟ υψηλής ποιότητας και τηρώντας όλους τους κανόνες ασφαλείας (εικ. 3). Σημαντικά σημεία που τον διαφοροποιούν από άλλους θαλάμους είναι τα εξής: (α) Αποτελείται από τρεις ΘΕ, οι οποίοι μπορεί να λειτουργήσουν ταυτόχρονα ή και ξεχωριστά, (β) έχει συνολική μέγιστη χωρητικότητα 38 ατόμων, (γ) μπορεί να υποστηρίξει όλων των ειδών ασθενείς (περιπατητικοί, βαρέως πάσχοντες, διασωληνωμένοι),



Εικόνα 3. Υπερβαρικοί θάλαμοι (ΥΘ) της Μονάδας Καταδυτικής και Υπερβαρικής Ιατρικής στο Ναυτικό Νοσοκομείο Αθηνών (ΜΚΥΙ/ΝΝΑ)³³ (φωτογραφία αρχείου).

(δ) μπορεί να υποστηρίξει καταδυτικά ατυχήματα και καταδύσεις με μείγματα αερίων, εκτός του αέρα και του οξυγόνου, (ε) διαθέτει τους μοναδικούς δύο επιχειρησιακούς θαλάμους, οι οποίοι μπορεί να φθάσουν σε βάθος 250 m και να καλύψουν μαζικό καταδυτικό ατύχημα ελληνικού ή συμμαχικού υποβρυχίου και (στ) διαθέτει τον μοναδικό θάλαμο στη χώρα που μπορεί να εξομοιώσει καταδύσεις σε νερό έως βάθος 250 m.³³

Το Πολεμικό Ναυτικό διαθέτει έναν ακόμα πολύχρωμο θάλαμο στο Ναυτικό Νοσοκομείο Κρήτης και κάποιους ακόμα εγκατεστημένους σε πολεμικά πλοία. Άλλες δημόσιες δομές του Εθνικού Συστήματος Υγείας (ΕΣΥ) με Μονάδα Υπερβαρικής Ιατρικής και ΘΕ για παροχή θεραπείας και περίθαλψης καταδυτικού ατυχήματος, καθώς και ΘΥΒΟ στον πληθυσμό, είναι το νοσοκομείο «Άγιος Παύλος» στη Θεσσαλονίκη και το Γενικό Νοσοκομείο Καλύμνου «Βουβάλειο», ενώ έχουν αναπτυχθεί και ιδιωτικές δομές στην Αττική και στη Θεσσαλονίκη.³⁴

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ΘΥΒΟ επεκτείνεται και χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στον κλινικό χώρο, καθώς η αποτελεσματικότητά της φαίνεται να συνεισφέρει στη βελτίωση των κλινικών επιπλοκών που ενδέχεται να προκύψουν από διάφορες νόσους. Η θεραπεία βασίζεται σε ενδείξεις αναγνωρισμένες από την επιστημονική κοινότητα, παρουσιάζει όμως επιπλοκές/αντενδείξεις, που αντιμετωπίζονται από το κατάλληλα εξειδικευμένο και εκπαιδευμένο ιατρονοσηλευτικό προσωπικό. Η ανάπτυξη και άλλων μονάδων ΘΥΒΟ σε διάφορα νοσοκομεία της Ελλάδας θα ήταν χρήσιμη για την εξυπηρέτηση περισσότερων ασθενών, ενώ, παράλληλα, με την αύξηση του καταδυτικού τουρισμού σε πολλά σημεία της χώρας μπορεί να αντιμετωπίζονται άμεσα καταδυτικά περιστατικά που πιθανόν να προκύψουν, έτσι ώστε να μειωθεί ο χρόνος της διακομιδής και να αποσυμφορηθούν τα νοσοκομεία των αστικών κέντρων.

ABSTRACT

Hyperbaric oxygen therapy: A modern method as adjunctive therapy in the management of various clinical complications

K. ATHANASIOU,¹ V.N. KALENTZOS,¹ E. VALIS,¹ M. KELESI,² G. VASILOPOULOS,² I. KALEMIKERAKIS²

¹Department of Hyperbaric and Diving Medicine, Naval Hospital of Athens, Athens,

²Department of Nursing, University of West Attica, Athens, Attica, Greece

Archives of Hellenic Medicine 2024, 41(2):166–174

Hyperbaric oxygen therapy (HBO) is a treatment procedure, which includes inhalation of 100% oxygen for a certain duration at a pressure greater than atmospheric. The treatment is carried out in recompression chamber, mono-place (one person) or multi-place (multiple patients at the same time). It is considered as an effective method of treatment, while it remains a useful option in the management of a variety of clinical conditions, both acute and chronic diseases at the same time. The application of HBO treatment aims to increase the cells' oxygen availability, improve tissue resistance, decrease infection and enhance wound healing involved in a number of diseases and injuries. Pathophysiologically, HBO shows a remarkable anti-inflammatory effect and strengthens the immune system against microorganisms, while it promotes wound healing and especially neo-angiogenesis. There are complications/contraindications, such as barotrauma and oxygen toxicity, which are treated appropriately by specialized medical and nursing personnel. In Greece, the Hellenic Navy has played a leading role in the introduction and development of HBO. "The Diving & Hyperbaric Medicine Unit" of the Athens Naval Hospital possesses one of the most sophisticated systems of recompression chambers worldwide. Specialized and experienced medical and nursing staff of the Unit serve as leading professionals on an international level. Although HBO facilities in Greece have increased during the last few years, continuous development in need of HBO is crucial to the needs of the population, the enhancement of diving tourism and better provision of health services for patients in hyperbaric conditions.

Key words: Hyperbaric oxygen, Hyperbaric oxygen therapy, Recompression chamber

Βιβλιογραφία

1. BHUTANI S, VISHWANATH G. Hyperbaric oxygen and wound healing. *Indian J Plast Surg* 2012, 45:316–324
2. THOM SR. Hyperbaric oxygen: Its mechanisms and efficacy. *Plast Reconstr Surg* 2011, 127(Suppl 1):131S–141S
3. KINDWALL EP, WHEELAN HT. *Hyperbaric medicine practice*. 3rd ed. Best Publishing Company, Flagstaff, AZ, 2008:26
4. WEAVER LK. *Hyperbaric oxygen therapy indications*. 13th ed. Best Publishing Company, North Palm Beach, Florida, 2014:10–11
5. KRISHNAMURTI C. Historical aspects of hyperbaric physiology and medicine [Internet]. *Respiratory physiology. IntechOpen* 2019:1–19; doi: 10.5772/intechopen.85216. Available at: <https://www.intechopen.com/state.item.id>
6. SINGH S, GAMBERT SR. Hyperbaric oxygen therapy: A brief history and review of its benefits and indications for the older adult patient. *Ann Long-Term Care [Internet]* 2014, 22. Available at: <https://www.hmpgloballearningnetwork.com/site/altc/articles/hyperbariv-oxygen-therapy-brief-history-and-review-its-benefits-and-indications-older>
7. LEVITAN DM, HITT M, GEISER DR, LYMAN R. Rationale for hyperbaric oxygen therapy in traumatic injury and wound care in small animal veterinary practice. *J Small Anim Pract* 2021, 62:719–729
8. SMOLLE C, LINDENMANN J, KAMOLZ L, SMOLLE-JUETTNER FM. The history and development of hyperbaric oxygenation (HBO) in thermal burn injury. *Medicina (Kaunas)* 2021, 57:49
9. EDWARDS ML. Hyperbaric oxygen therapy. Part 1: History and principles. *J Vet Emerg Crit Care (San Antonio)* 2010, 20:284–288
10. UNDERSEA AND HYPERBARIC MEDICAL SOCIETY. About the UHMS [Internet]. Available at: <https://www.uhms.org/about-the-uhms-html> (cited 15.3.2023)
11. ORTEGA MA, FRAILE-MARTINEZ O, GARCÍA-MONTERO C, CALLEJÓN-PELÁEZ E, SÁEZ MA, ÁLVAREZ-MON MA ET AL. A general overview on the hyperbaric oxygen therapy: Applications, mechanisms and translational opportunities. *Medicina (Kaunas)* 2021, 57:864
12. KARAMITROS AE, KALENTZOS VN, SOUCACOS PN. Electric stimulation and hyperbaric oxygen therapy in the treatment of non-unions. *Injury* 2006, 37(Suppl 1):S63–S73
13. MEMAR MY, YEKANI M, ALIZADEH N, BAGHI HB. Hyperbaric oxygen therapy: Antimicrobial mechanisms and clinical application for infections. *Biomed Pharmacother* 2019, 109:440–447
14. DEWOLDE SD, HULSKES RH, WEENINK RP, HOLLMANN MW, VAN HULST RA. The effects of hyperbaric oxygenation on oxidative stress, inflammation and angiogenesis. *Biomolecules* 2021, 11:1210
15. SEN S, SEN S. Therapeutic effects of hyperbaric oxygen: Integrated review. *Med Gas Res* 2021, 11:30–33
16. UNDERSEA AND HYPERBARIC MEDICAL SOCIETY. Indications for hyperbaric oxygen therapy [Internet]. Available at: <https://www.ujms.org/resources/hbo-indications.html> (cited 15.3.2023)
17. MATHIEU D, MARRONI A, KOT J. Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: Recommendations for accepted and non-accepted clinical indications and practice of hyperbaric oxygen treatment. *Diving Hyperb Med* 2017, 47:24–32
18. WEITGASSER L, IHRA G, SCHÄFER B, MARKSTALLER K, RADTKE C. Update on hyperbaric oxygen therapy in burn treatment. *Wien Klin Wochenschr* 2021, 133:137–143
19. HAMILTON-FARRELL M, BHATTACHARYYA A. Barotrauma. *Injury* 2004, 35:359–370
20. MANNING EP. Central nervous system oxygen toxicity and hyperbaric oxygen seizures. *Aerosp Med Hum Perform* 2016, 87:477–486
21. FOLEY K, BANHAM N, BONNINGTON S, GAWTHROPE I. Oxygen toxicity seizure mimics. *Diving Hyperb Med* 2021, 51:161–166
22. JOKINEN-GORDON H, BARRY RC, WATSON B, COVINGTON DS. A retrospective of adverse events in hyperbaric oxygen therapy (2012–2015): Lessons learned from 1.5 million treatments. *Adv Skin Wound Care* 2017, 30:125–129
23. McMONNIES CW. Hyperbaric oxygen therapy and the possibility of ocular complications or contraindications. *Clin Exp Optom* 2015, 98:122–125
24. SOLA A, CHOW L, ROGIDO M. Retinopathy of prematurity and oxygen therapy: A changing relationship. *An Pediatr (Barc)* 2005, 62:48–63
25. GAWDI R, COOPER JS. *Hyperbaric contraindications*. StatPearls Publishing, Treasure Island, FL, 2023. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK55761/>
26. JAIN KK. Indications, contraindications, and complications of HBO therapy. In: Jain KK (ed) *Textbook of hyperbaric medicine*. 6th ed. Springer International Publ, Cham, 2017:79–84
27. ARSLAN A. Hyperbaric oxygen therapy in carbon monoxide poisoning in pregnancy: Maternal and fetal outcome. *Am J Emerg Med* 2021, 43:41–45
28. HUANG E, DEMIREL S, BLISS C, SAVASER D, CASTLE JR. Reliability of the Dexcom G6 continuous glucose monitor during hyperbaric oxygen exposure. *Diabetes Technol Ther* 2020, 22:360–366
29. LEUNG JK, LAM RP. Hyperbaric oxygen therapy: Its use in medical emergencies and its development in Hong Kong. *Hong Kong Med J* 2018, 24:191–199
30. KIRBY JP, SNYDER J, SCHUERER DJE, PETERS JS, BOCHICCHIO GV. Essentials of hyperbaric oxygen therapy: 2019 review. *Mo Med* 2019, 116:176–179
31. SETHURAMAN KN, SMOLIN R, HENRY S. Is there a place for hyperbaric oxygen therapy? *Adv Surg* 2022, 56:169–204
32. ΚΙΡΚΕΤΣΟΥ Μ, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Ε. Η χρήση του υπερβαρικού οξυγόνου στην αντιμετώπιση των χειρουργικών τραυμάτων. *Ελληνικό Περιοδικό Νοσηλευτικής της Επιστήμης* 2021, 14:28–38
33. ΠΟΛΕΜΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ. Καταδυτική-υπερβαρική Ιατρική. Διαθέσιμο στο: <https://hellenicnavy.gr/anexartites-ypiresies-pn/naytiko-nosokomeio-athinon/katadytiki-ypervariki-iatriki/>
34. ΧΑΝΔΡΙΝΟΥ Α. Εκτίμηση της ποιότητας ζωής ασθενών με άσηπτη νέκρωση κεφαλής μηριαίου μετά υπερβαρική οξυγονοθεραπεία. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Νοσηλευτικής, Σχολή Επιστημών Υγείας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 2018

Corresponding author:

K. Athanasiou, Department of Nursing, University of West Attica, 28 Agiou Spyridonos street, 122 43 Egaleo, Attica, Greece e-mail: ntc21002@uniwa.gr