



# Κατάδυση στο Υπερβαρικό Περιβάλλον της Γης

Ο κολυμβητής μπορεί να προετοιμαστεί για την κατάδυση, παίρνοντας μια αργή και βαθιά αναπνοή, αφήνοντας τον εαυτό του να βυθιστεί σιγα σιγά στο νερό και εκπνέοντας σταδιακά, όταν η καρδιά του αρχίζει να χτυπά δυνατά.

Για να καταδυθεί ο κολυμβητής, το κεφάλι του πρέπει να είναι σκυμμένο προς το στήθος του, η πλάτη κυρτή και τα πόδια να σπρώχνουν το νερό με μεγαλύτερη δύναμη από ό,τι συνήθως. Τα μπράτσα όμως και τα χέρια, αντί να τεντώνονται προς τα μπρος όπως στο κολύμπι, πρέπει να κινούνται μάλλον προς τα πίσω ή να βγαίνουν κάπως πιο χαμηλά και να περνούν περισσότερο προς τα πίσω...

Κατά την κολύμβηση κάτω από το νερό, το κεφάλι πρέπει να είναι στραμμένο λίγο προς τα κάτω και τα πόδια να τεντώνονται λίγο ψηλότερα από ό,τι κατά την κολύμβηση στην επιφάνεια της θάλασσας. Και αν ο κολυμβητής νομίζει ότι πλησιάζει υπερβολικά την επιφάνεια, πρέπει να πιέσει τις παλάμες προς τα πάνω.

*Για να αναδυθούμε, πρέπει να κρατάμε το πηγούνι ψηλά, να κά-  
νουμε κοίλη την πλάτη, να τεντώνουμε τα χέρια ψηλά και να τα κα-  
τεβάζουμε απότομα.*

**- D. Walker, *British Manly Exercises. Containing Rowing and  
Sailing, Riding and Diving, etc., 1836*<sup>1</sup>**

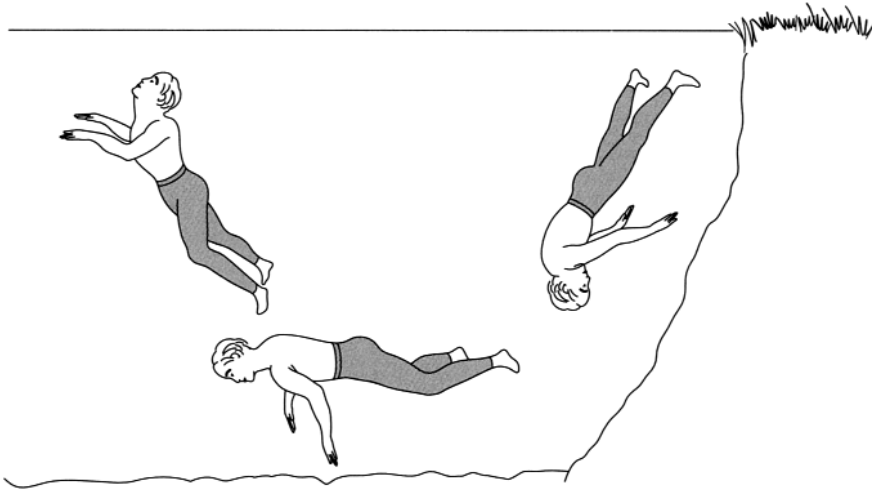
**Η** κατάδυση διαταράσσει την **ομοίσταση** του οργανισμού, μεταβάλλοντας την Ηεσωτερική πίεση και τις συγκεντρώσεις των αερίων. Αυτές οι μεταβολές προκαλούν αλλαγές στη σύσταση και την κίνηση των σωματικών υγρών. Το καρδιαγγειακό και το αναπνευστικό σύστημα είναι απαραίτητα για τη ρύθμιση της πίεσης και των αερίων. Όταν όμως η υπερβολική πίεση κατά την κατάδυση σε μεγάλο βάθος ξεπερνά την προσαρμοστική ικανότητα αυτών των δύο συστημάτων, εμφανίζονται καταδυτικές ασθένειες και τραύματα.

Αν και ο οργανισμός μας μπορεί σε μικρό βαθμό να προσαρμοστεί στο υπερβαρικό περιβάλλον, χρειάζεται ειδικός εξοπλισμός για την υποβοήθηση των φυσιολογικών λειτουργιών του οργανισμού και την παροχή αέρα στους πνεύμονες. Η αναπνοή για παράδειγμα πεπεισμένων αερίων που έχουν αναμιχθεί με ακρίβεια απαιτεί σημαντικές ειδικές γνώσεις και πείρα. Οι αρχάριοι δύτες και οι γυναίκες πρέπει να παίρνουν ειδικές προφυλάξεις. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε αυτές τις συστάσεις, καθώς και σε άλλες, συνεισφέροντας έτσι στο να γίνει η κατάδυση ένα ασφαλές και διασκεδαστικό σπορ.

## Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΔΥΣΗΣ

Το απόσπασμα με το οποίο ξεκινά αυτό το κεφάλαιο είναι, πιστεύουμε, η πρώτη περιγραφή της ελεύθερης κατάδυσης ως αθλητικής δραστηριότητας (εικόνα 4.1). Η εμπορική κατάδυση ωστόσο υπήρχε τουλάχιστον από το 460 π.Χ. Σύμφωνα με τον αρχαίο Έλληνα ιστορικό Ηρόδοτο, ο Πέρσης βασιλιάς Ξέρξης χρησιμοποίησε το δύτε Σκύλλι, για να ανασύρει θησαυρούς από πλοία που είχαν ναυαγήσει στη Μεσόγειο Θάλασσα στη διάρκεια των 50 ετών των Περσικών Πολέμων.<sup>2,3</sup> Ανάλογες περιγραφές στρατιωτικών και σωστικών επιχειρήσεων εμφανίζονται σε όλες τις ιστορίες του ρωμαϊκού και του ιαπωνικού πολιτισμού.<sup>3,4</sup> Δύτες του στρατού έκοβαν τα σκοινιά από τις άγκυρες των εχθρικών πλοίων για να τα παρασύρει το ρεύμα, τρυπούσαν τον πυθμένα τους ή κατασκεύαζαν αμυντικά έργα στα λιμάνια.<sup>5</sup>

Τα υποβρύχια αυτά κατορθώματα επιτυγχάνονταν με ελεύθερη κατάδυση (δηλαδή, ο δύτες έπρεπε να κρατά την αναπνοή του μέχρι να ξανανέβει στην επιφάνεια). Οι τεχνολογικές εξελίξεις που παρέτειναν την παραμονή κάτω από το νερό

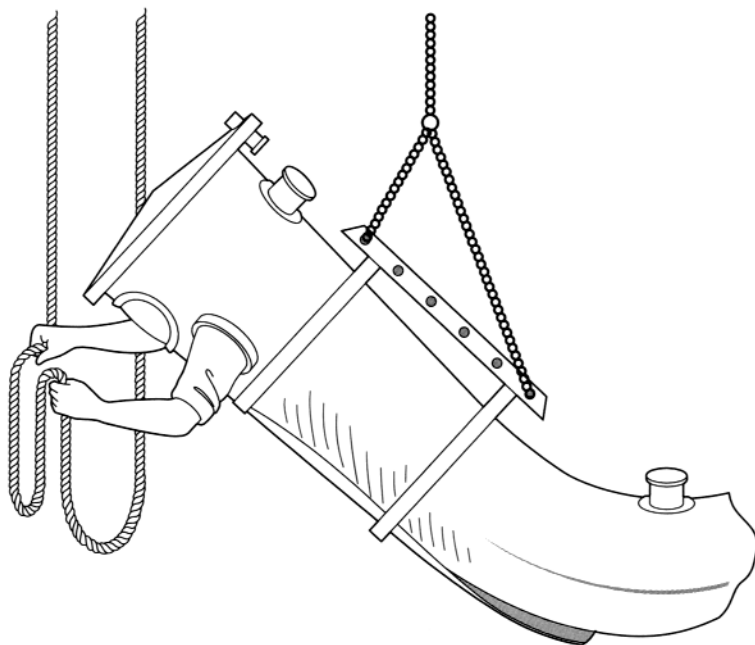


**Εικόνα 4.1** Η περιγραφή του αθλήματος της ελεύθερης κατάδυσης που κάνει ο Walker το 1836.<sup>1</sup>

άρχισαν να εμφανίζονται μόλις πριν 300 ή 400 χρόνια.<sup>3</sup> Επινοήθηκαν διάφοροι τρόποι, για να παρέχεται αέρας στους δύτες. Το 1531, για παράδειγμα, κατασκευάστηκε ένας πρακτικός καταδυτικός κώδων. Αυτή η συσκευή, που είχε πραγματικά σχήμα καμπάνας, ζυγιαζόταν και βυθιζόταν κάθετα στο νερό. Ο δύτης μπορούσε να παραμείνει μέσα στον κώδωνα, αν το πλοίο τον πήγαινε ακριβώς πάνω από το έργο που έπρεπε να εκτελέσει, ή να βγαίνει από τον κώδωνα για μικρά διαστήματα κρατώντας την αναπνοή του.<sup>5</sup> Πολύ αργότερα, το 1690, ο αστρονόμος Sir Edmund Halley επινόησε ένα δερμάτινο σωλήνα που μετέφερε αέρα σε βυθισμένους κώδωνες. Αυτός ο σωλήνας παρείχε αέρα σε επανδρωμένους κώδωνες σε βάθος 18 μέτρων (60 ποδιών).<sup>2</sup> Σε μια από τις πρώτες παρουσιάσεις αυτού του συστήματος, ο Halley παρέμεινε μαζί με άλλα τέσσερα άτομα σε βάθος 18 μέτρων κάτω από την επιφάνεια του Τάμεση για 1,5 περίπου ώρα.<sup>5</sup>

Το 1715 ο Άγγλος John Lethbridge κατασκεύασε την πρώτη ατομική στολή κατάδυσης (εικόνα 4.2 σελ. 134). Η συσκευή του ήταν βασικά ένα ενισχυμένο βαρέλι με αέρα, καλυμμένο με δέρμα, εφοδιασμένο με ένα γυάλινο παράθυρο και δύο τρύπες με στεγανοποιημένα μανίκια για τα χέρια. Επέτρεπε στο δύτη να δουλεύει κάτω από το νερό για ένα διάστημα μέχρι 34 λεπτά.<sup>5</sup> Αυτό το σύστημα και τα άλλα που το διαδέχτηκαν είχαν τους ίδιους περιορισμούς με τους καταδυτικούς κώδωνες. Δεν είχαν καμία δυνατότητα να παρέχουν διαρκώς αέρα στο δύτη.

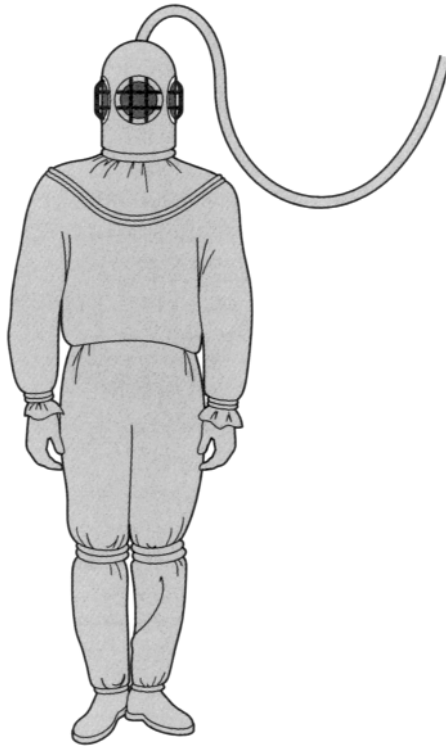
Ευτυχώς, στη διάρκεια μιας περιόδου 90 ετών που ξεκίνησε το 1788, έγιναν τέσσερις επαναστατικές για την κατάδυση καινοτομίες. Η πρώτη ήταν μια αντλία που διοχέτευε πεπιεσμένο αέρα είτε σ' έναν καταδυτικό κώδωνα είτε σ' ένα δύ-



**Εικόνα 4.2** Η πρώτη ατομική στολή κατάδυσης που κατασκευάστηκε το 1715 από τον John Lethbridge.<sup>5</sup>

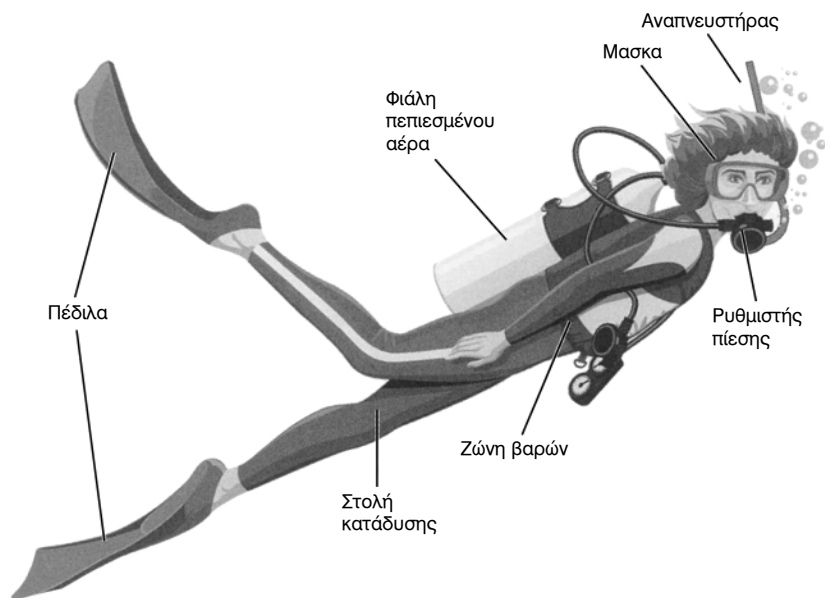
τη.<sup>6</sup> Η δεύτερη ήταν μια ολόσωμη αδιάβροχη στολή κατάδυσης που εφευρέθηκε από τον August Siebe το 1840 και περιελάμβανε ένα σκάφανδρο με ανοίγματα για να βλέπει ο δύτης, παροχή αέρα και μια βαλβίδα εξαγωγής (εικόνα 4.3).<sup>5</sup> Η τρίτη καινοτομία, ο "ρυθμιστής πίεσης" έγινε από ένα Γάλλο μηχανικό το 1866.<sup>5</sup> Αυτή η συσκευή παρείχε αέρα στους δύτες, όταν ήθελαν να εισπνεύσουν, σε πιέσεις πολύ μεγαλύτερες της 1 ατμόσφαιρας, της πίεσης δηλαδή στο επίπεδο της θάλασσας.<sup>3</sup> Η τέταρτη καινοτομία ήταν η πρώτη αυτόνομη αναπνευστική συσκευή που κατασκευάστηκε το 1878 από τους Henry Fluess και August Siebe. Αυτή η συσκευή χρησιμοποιούσε καθαρό οξυγόνο και ένα σύστημα απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα (βλ. επόμενη παράγραφο). Μολονότι εξέθετε τους δύτες στον κίνδυνο της δηλητηρίασης οξυγόνου (την αναπνοή αέρα που περιέχει  $O_2$  σε πολύ υψηλά επίπεδα), δεν καταγράφηκαν περιστατικά αυτής της ασθένειας κατά τη μεγάλη διάρκεια κάποιων υποβρύχιων επιχειρήσεων σε ένα πλημμυρισμένο τούνελ.<sup>2</sup>

Η επόμενη σημαντική βελτίωση του καταδυτικού εξοπλισμού έγινε πολύ αργότερα, το 1943, στη διάρκεια της γαλλικής αντίστασης ενάντια στη ναζιστική Γερμανία. Ο γνωστός εξερευνητής του βυθού Jacques-Yves Cousteau και ο Emile Gagnon συνδύασαν ένα ρυθμιστή πίεσης με μία φιάλη πεπιεσμένου αέρα, δημιουργώντας αυτό που ονόμασαν αυτόνομη υποβρύχια αναπνευστική συσκευή



**Εικόνα 4.3** Η ολόσωμη αδιάβροχη στολή κατάδυσης με σκάφανδρο που κατασκευάστηκε από τον Siebe το 1840.<sup>5</sup>

(self-contained underwater breathing apparatus, SCUBA),<sup>5</sup> την πρώτη πραγματικά αποτελεσματική και ασφαλή συσκευή ανοιχτού κυκλώματος τέτοιου είδους. Στο σύστημα *ανοιχτού κυκλώματος* ο αέρας λαμβάνεται από μια φιάλη παροχής, εισπνέεται και εκπνέεται στο νερό που περιβάλλει το δύτη. Επειδή όμως αυτό το σύστημα είχε το μειονέκτημα ότι άφηνε φυσαλίδες στην επιφάνεια του νερού οι οποίες πρόδιδαν τη θέση των δυτών κατά τις στρατιωτικές επιχειρήσεις, καθώς και το μειονέκτημα της σπατάλης πεπιεσμένου αέρα, σύντομα επινοήθηκαν διάφορες συσκευές *κλειστού κυκλώματος* για την αντιμετώπιση αυτών των δύο προβλημάτων. Όταν χρησιμοποιεί ένα σύστημα scuba κλειστού κυκλώματος, ο δύτης αναπνέει είτε καθαρό  $O_2$  (που περιορίζει το βάθος κατάδυσης λόγω του κινδύνου δηλητηρίασης οξυγόνου) είτε ένα μίγμα αερίων αποτελούμενο από οξυγόνο και ένα αδρανές αέριο (π.χ. ήλιο, άζωτο) και ο εκπνεόμενος αέρας ανακυκλώνεται, αντί να απελευθερώνεται στο νερό που περιβάλλει το δύτη. Ένα χημικό φίλτρο απομακρύνει το διοξείδιο του άνθρακα, ενώ σταδιακά προστίθεται οξυγόνο από τη φιάλη και αντικαθιστά το οξυγόνο που έχει καταναλώσει ο οργανισμός. Στο



**Εικόνα 4.4** Σύγχρονος καταδυτικός εξοπλισμός scuba.

Προσαρμογή από το Graver 1993.

σημερινό εξοπλισμό scuba κλειστού κυκλώματος η δηλητηρίαση οξυγόνου αποφεύγεται μέσω της ηλεκτρονικής ανίχνευσης του  $O_2$  και της παροχής σταθερής συγκέντρωσης οξυγόνου σε οποιοδήποτε βάθος<sup>5</sup> (βλ. παρακάτω την ενότητα "Ιατρικά Ζητήματα: Αναπνέοντας Μίγματα Αερίων", σελ. 149).

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η κατασκευή εξοπλισμού scuba ανοικτού κυκλώματος (εικόνα 4.4) και η διάθεσή του στην αγορά έκανε τον υποβρύχιο κόσμο προσιτό σε όλο και περισσότερους ανθρώπους. Η κατάδυση ως αθλητική δραστηριότητα σημείωσε ιδιαίτερη ανάπτυξη. Από την εποχή που οι ΗΠΑ γνώρισαν το σπορ της αυτόνομης κατάδυσης, πάνω από 7 εκατομμύρια άνθρωποι επιδίδονται σε αυτό μετά από ειδική εκπαίδευση.<sup>3</sup> Η εμπορική κατάδυση έχει εξελιχθεί σε ολόκληρη βιομηχανία - την υπεράκτια παραγωγή πετρελαίου. Γεωλόγοι, βιολόγοι, ζωολόγοι και αρχαιολόγοι έχουν εξερευνήσει τον υποβρύχιο κόσμο, αναζητώντας νέα στοιχεία για την καταγωγή και τη συμπεριφορά της γης και των αμέτρητων μορφών ζωής που φιλοξενεί.

## ΤΟ ΣΩΜΑ ΜΑΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

Στις επόμενες παραγράφους θα εξεταστούν οι φυσιολογικοί λόγοι για τους οποίους ήταν απαραίτητες οι τεχνολογικές εξελίξεις που περιγράψαμε πιο πάνω.

Όταν οι άνθρωποι καταδύονται σε μεγάλα βάθη μπορούν να προκύψουν πολλά ιατρικά προβλήματα λόγω της τεράστιας πίεσης που ασκεί το νερό στους ιστούς και τα όργανα του σώματος. Τα προβλήματα αυτά εμφανίζονται παρά τους μηχανισμούς ασφαλείας του σύγχρονου εξοπλισμού αυτόνομης κατάδυσης. Οι αιτίες και οι θεραπείες των ιατρικών προβλημάτων που σχετίζονται με την πίεση του νερού περιγράφονται στο τέλος αυτού του κεφαλαίου. Οι επιπτώσεις της βύθισης σε κρύο νερό έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο 3.

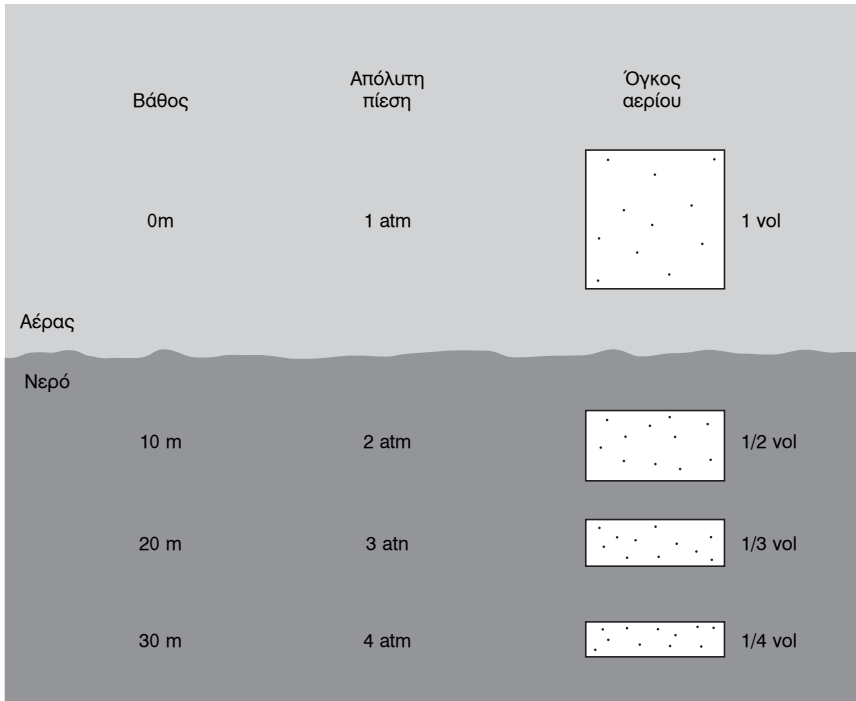
## Κατάδυση, Πίεση και Όγκοι Αερίων

Τη στιγμή που διαβάσετε αυτές τις λέξεις, βρίσκεστε κάτω από μια πολύ ψηλή στήλη αέρα η οποία έχει βάρος, αλλά το κεντρικό νευρικό σας σύστημα δεν την αισθάνεται. Το μετρήσιμο βάρος αυτής της κατακόρυφης στήλης ατμοσφαιρικού αέρα είναι γνωστό ως **ατμοσφαιρική πίεση**. Όταν βυθιζόμαστε στο νερό, ασκείται πάνω μας, από όλες τις κατευθύνσεις προς το κέντρο του σώματός μας, μια πολύ μεγαλύτερη πίεση, η **υδροστατική πίεση**.

Οι τρεις καταστάσεις της ύλης - στερεή, υγρή και αέρια - έχουν διαφορετικές δυνατότητες συμπίεσης η κάθε μία. Ενώ τα στερεά και τα υγρά είναι σχετικά ασυμπίεστα, τα αέρια διαστέλλονται και συστέλλονται εύκολα, ανάλογα με τις αλλαγές πίεσης και θερμοκρασίας. Επειδή ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται κυρίως από νερό και άλλα ασυμπίεστα στοιχεία, καθώς ο δύτης κατεβαίνει σε όλο και μεγαλύτερο βάθος, η αυξημένη πίεση του περιβάλλοντος μεταδίδεται ομοιόμορφα στα όργανα και τους ιστούς του. Επειδή η συνεχής μεταφορά αερίων (π.χ.  $O_2$ ,  $CO_2$ ) είναι απαραίτητη για το μεταβολισμό, την υγεία και την απόδοσή μας, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε πώς επιδρά η κατάδυση στα αέρια μέσα στους πνεύμονες, το αίμα και τους ιστούς. Έτσι θα κατανοήσουμε καλύτερα και τα κλινικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι δύτες.

## Βάθος και Υδροστατική Πίεση

Η εικόνα 4.5 δείχνει την επίδραση του βάθους του νερού σε έναν αέριο όγκο που βρίσκεται μέσα σε ένα κλειστό δοχείο. Στην επιφάνεια της θάλασσας, η πίεση του αέρα στα αέρια μέσα στο δοχείο είναι 1 atm. Το υποβρύχιο περιβάλλον είναι το μόνο μέρος της γης όπου η πίεση που ασκείται στο σώμα μας υπερβαίνει κατά πολύ τη 1 atm. Αυτό το περιβάλλον ονομάζεται συχνά **υπερβαρικό** (υψηλής πίεσης). Σε βάθος 10 μέτρων (33 ποδιών), η εξωτερική πίεση ισοδυναμεί με 2 atm. Αν το δοχείο βυθιστεί σε βάθος 20 μέτρων (66 ποδιών) από την επιφάνεια της θάλασσας, θα δέχεται πίεση 3 atm. Στα 30 μέτρα (99 πόδια) η υδροστατική πίεση είναι 4 atm κ.ο.κ. Επειδή ο όγκος ενός αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογος της πίεσης που ασκείται σε αυτό (αυτή η αρχή είναι γνωστή ως ο νόμος του Boyle), ο όγκος του αέρα στο κλειστό δοχείο μειώνεται στο μισό του αρχικού σε βάθος 10



**Εικόνα 4.5** Όσο καταδυόμαστε η υδροστατική πίεση αυξάνει και ο όγκος του αερίου μειώνεται αναλογικά ως προς την άυξηση της πίεσης.

Προσαρμογή από Strauss 1984.

μέτρων, στο ένα τρίτο σε βάθος 20 μέτρων και στο ένα τέταρτο σε βάθος 30 μέτρων.<sup>7</sup>

Οι ανθρώπινοι πνεύμονες όμως δεν είναι τόσο άκαμπτοι όσο ένα μεταλλικό δοχείο. Έτσι, όσο ο δύτης βυθίζεται, τα υγρά και τα αέρια μετακινούνται σε άλλους χώρους στο εσωτερικό του σώματός του. Επίσης όταν είναι κλεισμένος μέσα σε ένα σκάφος όπου διατηρείται η ατμοσφαιρική πίεση (π.χ. υποβρύχιο) ή όταν αναπνέει πεπιεσμένο αέρα, η επίδραση της υδροστατικής πίεσης στον όγκο αερίων στους πνεύμονες είναι διαφορετική. Η εικόνα 4.6 δείχνει πώς επηρεάζονται τα αέρια μέσα στους πνεύμονές μας, αν κατέβουμε σε βάθος 30 μέτρων χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικούς τρόπους υποβρύχιας εξερεύνησης: με υποβρύχιο, κρατώντας την αναπνοή μας (ελεύθερη κατάδυση) ή αναπνέοντας πεπιεσμένο αέρα από φιάλες αυτόνομης κατάδυσης.<sup>8</sup> Το κύτος ενός υποβρυχίου είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να αντέχει τεράστια υδροστατική πίεση, ενώ η πίεση του αέρα μέσα στο σκάφος διατηρείται στη 1 atm. Επομένως οι επιβάτες ενός υποβρυχίου δεν θα υποστούν μεταβολές της πίεσης ή του όγκου του αέρα στους πνεύμονές τους, όταν ταξιδεύουν σε βάθος 30 μέτρων ή και μεγαλύτερο. Κατά