

Uitleg over Professor AA Bühlmann's ZH-L 16 Algoritme

door Paul Chapman
(vertaald door Iwan Plovie)

Geschiedenis

De Schotse wetenschapper John Scott Haldane wordt beschouwd als de grondlegger van de moderne decompressie theorie. In de 19^{de} eeuw experimenteerde Haldane met geiten in een poging een oplossing te vinden voor het probleem van de "caisson ziekte" die voorkwam bij arbeiders die aan druk onderhevig waren bij het werken onder water aan bruggen en tunnels. Onderzoek wees uit dat gas, die door de arbeiders onder druk werd ingeademd, oploste in de lichaamswefsels en als het gas vrij kwam, onder de vorm van gasbellen in het lichaam, de arbeiders de "caisson ziekte" kregen of wat wij nu decompressie ziekte (DKZ) noemen.

Door zijn onderzoek beschouwde Haldane het menselijke lichaam als een groep van parallelle weefsels. Wat betekent dat alle weefsels tegelijkertijd waren blootgesteld aan de ingeademde gassen onder de omgevingsdruk, maar daarop reageerden op hun geëigende manier. De overgang van gas van het ene naar het andere weefsel werd buiten beschouwing gelaten.

Dit principe geldt nog steeds en is de basis van veel, maar niet alle, huidige decompressie modellen. Het model, gebruikt bij het opmaken van de British Sub Aqua Club duiktabellen, gebruikt één blok van weefsel waar het gas in oplost, terwijl het Canadese DCIEM model een reeks van weefsels, gerangschikt in groepen beschouwt. Alleen de eerste van de reeks van weefsels is onderhevig aan de omgevingsdruk en er gebeurt gas diffusie van het ene naar het andere weefsel.

Haldane stelde ook vast dat het lichaam een zekere oververzadiging aan gas kon ondergaan, zonder dat er een merkbare DKZ voorkwam. Caisson arbeiders die onder een druk van twee atmosfeer werkten hadden geen problemen ongeacht de tijd.

Deze twee ideeën: gas die opgenomen wordt door de weefsels en de theorie van de toegelaten oververzadiging vormden de basis Haldane's werk.

Het moeilijke gedeelte was om vast te stellen hoe het gas juist door het lichaam werd opgenomen en hoeveel oververzadiging er aanvaardbaar was. Haldane bekwam een zeer succesvol resultaat.

Anderen werkten Haldane's ideeën verder uit. Midden de jaren 1960 verfijnde de Amerikaan Robert Workman het idee van de toegelaten oververzadiging van de weefsels door de zuurstof buiten beschouwing te laten en alleen inerte gassen in het gasmengsel in rekening te nemen zoals stikstof en helium. Workmans maximale oververzadigingwaarden (de z.g. M-waarden) waren meer complex dan die van Haldane en varieerden met de diepte en met het soort weefsel. Rond dezelfde periode werkte Professor Albert Bühlmann aan een identiek onderzoek in het Universitair Hospitaal in Zurich. Bühlmann's onderzoek liep over een tijdspanne van 30 jaar en werd gepubliceerd in een boek: Dekompressionskrankheit uit 1983. Dit boek, gepubliceerd in het Engels in 1984, bevatte voor het eerst begrijpelijke instructies hoe decompressie moest berekend worden voor een breed publiek en hierdoor werd Bühlmann's werk de basis voor vele duiktabellen, duikcomputers en decompressie programma's voor PC's. Drie andere edities werden gepubliceerd, de laatste in 1995, hierop is dit document gebaseerd.

De grondbeginselen

Door het verschil in doorbloeding, diffusie van gassen en andere factoren, lossen de inerte gassen, die we inademen, op met verschillende snelheden in onze verschillende lichaamswefsels. Weefsels met een hoge diffusiesnelheid, die een goede doorbloeding

hebben, zullen veel sneller gassen opnemen. Bloed, voornaamste organen en het centrale zenuwstelsel vallen hieronder en we noemen ze daarom “snelle” weefsels. Andere weefsels nemen veel trager gassen op. Bij de tragere weefsels behoren, bij toenemende mate, spieren, huid, vet en beenweefsel. Vele weefsels, die een goede doorbloeding hebben, zijn bijna onmiddellijk blootgesteld aan hoge druk van de inerte gassen, terwijl andere weefsels moeten wachten tot dat het gas hen bereikt door diffusie vanuit de omringende weefsels. Hierdoor mag men de lichaamsweefsels beschouwen zowel in serie als in parallel.

Ofschoon een snel weefsel zich snel zal verzadigen met een inert gas wanneer de gasdruk stijgt, zal het zich sneller ontdoen van het gas wanneer de druk afneemt dan een trager weefsel.

Gas-opnemen en gas-afgeven kan men beschrijven met de theorie van de halfwaardetijd. Veel natuurlijke verschijnselen worden op deze manier beschreven bijv: het radioactieve verval.

Het principe is dat als een weefsel blootgesteld wordt aan een hogere gasdruk, dan zal het inerte gas opgenomen worden door dat weefsel. Na de halfwaardetijd is de druk van het gas in het weefsel de helft van de omgevingsdruk. Na twee halfwaardetijden is de gasdruk in het weefsel gestegen met de helft van het drukverschil m.a.w. de druk in het weefsel bedraagt nu 75% t.o.v. de omgevingsdruk. Na drie halfwaardetijden komt er nog eens de helft van het drukverschil bij dus $25\% : 2 = 12,5\%$ en de druk in het weefsel bedraagt nu 87,5% van de omgevingsdruk en zo gaat het verder. Volgens deze theorie zal de druk in het weefsel NOOIT de omgevingsdruk bereiken! Men mag echter stellen dat na 6 halfwaardetijden het weefsel verzadigd is aan het omringende inert gas. Op dit moment mag men aannemen dat er evenveel gas door het weefsel wordt opgenomen als dat er gas het weefsel verlaat.

Wanneer de druk stijgt (de duiker daalt af) zal er terug gas worden opgenomen, wanneer de druk daalt (duiker stijgt) zal het gas het weefsel verlaten, dit telkens volgens de theorie van de halfwaardetijden. Na 6 halfwaardetijden zal het weefsel terug in evenwicht zijn met de omgevingsdruk.

De halfwaardetijden verschillen voor elk soort weefsel en voor elk soort inert gas, gezien ze met verschillende snelheid diffunderen.

Voor menselijke weefsels variëren de halfwaardetijden van enkele seconden (bloed) tot meerdere uren. Voor helium bedraagt de halfwaardetijd ongeveer 2,65 keer minder dan stikstofgas, gezien de snellere diffusie voor helium.

Wanneer de druk teveel vermindert op een weefsel dan zal het gas de normale diffusieweg niet meer volgen, zoals: via het bloed naar de longen, maar er zullen gasbellen gevormd worden in het weefsel wat zal leiden tot de vele symptomen die wij kennen onder de noemer van DKZ. De vraag is nu: wat is een te grote drukvermindering? Experimenteel werd vastgesteld dat snelle weefsels (zoals bloed) een grotere drukvermindering verdragen dan trage weefsels, zonder dat er gasbellen ontstaan.

Een van de uitdagingen voor Bühlmann was om een algoritme op te stellen om dit verschil te berekenen in een wiskundige formule zodat het kon gebruikt worden om decompressie profielen te kunnen uitrekenen. Wij zullen zijn oplossing verder bekijken.

Voor zijn ZH-L16 algoritme verkoos Bühlmann het menselijke lichaam op te delen in 16 “weefsels” en koppelde daaraan een reeks van halfwaardetijden van minuten tot meerdere uren. Het is belangrijk te beseffen dat ze niet overeen komen met werkelijke weefsels in ons lichaam en dat de halfwaardetijden zo zijn gekozen dat ze een representatieve spreiding weergeven van aannemelijke waarden. Ze vertegenwoordigen dus geen werkelijke weefsels, noch de halfwaardetijden van een bepaald weefsel. Daarom is de veel gebruikte beschrijving van de 16 secties als “weefsels” nogal verwarrend en zullen we dit verder omschrijven als

“compartimenten”. Bühlmann noemde zijn algoritme naar Zurich (ZH), limits (L) en het aantal M-waarden (16).

Wanneer blootgesteld aan verhoogde druk, dan zal elk compartiment gas opnemen volgens zijn eigen halfwaardetijd; zo kunnen we op elk ogenblik berekenen hoeveel druk aan inert gas er voorkomt in elk compartiment. Er bestaat een standaard wiskundige formule om de halfwaardetijd te berekenen, Bühlmann heeft er nog het een en het ander aan toegevoegd tot het een volledige formule werd voor de inerte gasdruk in gelijk welk compartiment na gelijk welke tijd. Ziehier de formule:

$$P_{\text{comp}} = P_{\text{begin}} + [P_{\text{gas}} - P_{\text{begin}}] \times [1 - 2^{-t/t_{\text{ht}}}]$$

Waar: P_{begin} = druk inert gas in het compartiment voor de drukverandering in bar

P_{comp} = druk inert gas in het compartiment na de druk verandering in bar na een tijd t_e

P_{gas} = druk inert gas in het ingeademde mengsel in bar

t_e = de duur van de druk in minuten

t_{h} = de halfwaardetijd van het compartiment.

Een voorbeeld: een duiker daalt af van de oppervlakte naar 30 meter met lucht en blijft daar 10 minuten. De partiële stikstofdruk in het ingeademde gas (P_{gas}) is $4 \times 0,79 = 3,16$ bar. Beschouwen we het compartiment nummer 5. De halfwaardetijd voor stikstof voor het compartiment 5 (t_{ht}) bedraagt 27 minuten (zie tabel 1).

De partiële druk voor stikstof in compartiment 5 aan het oppervlak bedraagt (P_{begin}) 0,79 bar, hier wordt verondersteld dat de duiker geen vorige duik heeft gedaan en zich op zeeniveau bevindt. De tijd op de diepte van 30 m is 10 minuten (t_e).

Deze gegevens in de formule geven ons:

$$P_{\text{comp}} = 0,79 + [3,16 - 0,79] \times [1 - 2^{-10/27}] = 1,33 \text{ bar}$$

De partiële druk voor stikstof in compartiment 5 van onze duiker bedraagt hier 1,33 bar. In werkelijkheid heeft de duiker ook stikstof opgenomen gedurende zijn afdaling naar 30 meter. Hiervoor kunnen we dezelfde berekening maken met de gemiddelde druk tussen 0 en 30 meter gedurende 1 minuut dat de afdaling duurt en deze bij het vorige resultaat tellen of de berekening vele malen herhalen met kleine intervallen gedurende de afdaling, dit kan gemakkelijk met een computer.

Men kan deze berekening natuurlijk herhalen voor alle andere compartimenten, rekening houdend met de halfwaardetijden (zie tabel 1). Hier is ook de computer aangewezen. Het mooie van deze vergelijking is zijn veelzijdigheid. Absolute druk (geen diepte) wordt hier overal gebruikt en vermits hier de werkelijke partiële druk van het inert gas, welke we inademen, in de formule voorkomt, kunnen we er alles mee berekenen: het afdalen en het opstijgen vanaf gelijk welke druk, gelijk welk gasmengsel, verwisselen van gasmengsel onder water, vliegzeilen na het duiken, aan de oppervlakte blijven, herhalingsduiken maken, enz...

Nu we de druk van het inerte gas kennen in elk compartiment moeten we nog de diepte (of liever de druk) kennen waar we op een veilige manier kunnen opstijgen. We hebben al vermeld dat dit zal verschillen al naargelang het compartiment: snellere compartimenten verdragen een groter drukverschil dan tragere. Bühlmann beweerde dat de grootte van het drukverval dat een bepaald compartiment kan verdragen zonder belvorming te vertonen, waarschijnlijk een wiskundig verband heeft met zijn halfwaardetijd.

Hij leidde eerst twee factoren af welke hij “a” en “b” noemde van de halfwaardetijd (zo had elk compartiment zijn eigen a en b waarden), dan gebruikte hij deze factoren om de druk te berekenen waarnaar men kan opstijgen. De a en b waarden kan men berekenen met de volgende formules:

$$a = 2 \times t_{ht}^{-1/3}$$

$$b = 1,005 - t_{ht}^{-1/2}$$

Hier is t_{ht} de halfwaardetijd voor het compartiment. Bijvoorbeeld: de halfwaardetijd voor compartiment 5 = 27 minuten en dus is $a = 2 \times 27^{-1/3} = 0,6667$ en $b = 1,005 - 27^{-1/2} = 0,8125$

Weet dat de halfwaardetijden verschillen voor andere gassen, zo heeft elk gas zijn eigen set van halfwaardetijden, a en b waarden (zie tabel 1)

Nu we a en b kennen, kunnen we de formule gebruiken om de druk te berekenen tot waar we kunnen stijgen voor elk compartiment. Ziehier, de formule welke Bühlmann ervoor opstelde.

$$P_{amb.tol} = (P_{comp} - a) \times b$$

Met: $P_{amb.tol}$ = de druk tot dewelke men mag stijgen zonder gevaar

P_{comp} = de druk van het inerte gas in het compartiment

a en b de waarden van a en b voor dat compartiment en voor het gas in kwestie

Voor het bovenstaande voorbeeld vonden we dat voor een blootstelling van 10 minuten aan een druk van 4 bar (30 meter) dit leidde tot een stikstofdruk in compartiment 5 van 1,33 bar en de overeenkomstige a en b waarden respectievelijk 0,6667 en 0,8125 waren.

Dit ingebracht in de formule geeft:

$$P_{amb.tol} = (1,33 - 0,6667) \times 0,8125 = 0,54 \text{ bar}$$

Vermits de druk aan de oppervlakte 1 bar bedraagt en de formule ons vertelt dat de toegestane druk kleiner mag zijn, mogen we zonder gevaar voor belvorming in compartiment 5 naar de oppervlakte stijgen (veronderstellende dat we lucht inademen). Dit is dus een no-deco-duik zoals verwacht volgens de duiktabellen.

Als we dezelfde berekening maken voor 30 meter en 50 minuten dan vinden we een N_2 -partiële druk in compartiment 5 van 2,5 bar en de druk mag vallen tot 1,49 bar. Dit is de druk op 5 meter diepte en dit is de maximum diepte dat toegelaten is voor compartiment 5, na een duik op 30 meter gedurende 50 minuten.

Als we deze methode herhalen, voor dezelfde diepte en tijd, voor alle andere compartimenten dan vinden we verschillende waarden, bijvoorbeeld:

Compartiment 3: halfwaardetijd 12,5 minuten, $a = 0,8618$, $b = 0,7222$

$$P_{\text{comp}} = 3,01$$

$$P_{\text{comp.tol}} = (3,01 - 0,8618) \times 0,7222 = 1,55 \text{ bar of } 5,5 \text{ meter}$$

Compartiment 10: halfwaardetijd 146 minuten, $a = 0,3798$, $b = 0,9222$

$$P_{\text{comp}} = 1,29 \text{ bar}$$

$$P_{\text{comp.tol}} = (1,29 - 0,3798) \times 0,9222 = 0,84 \text{ bar (boven de oppervlakte)}$$

Eens dat we dit herhaald hebben voor alle compartimenten dan kunnen we niet stijgen boven de diepste van de toegelaten diepte. In ons drie compartimenten voorbeeld is dit -5,5 meter.

Dit wordt onze decompressie trap genoemd en het overeenkomstige compartiment (hier compartiment 3) controleert de decompressie bij die diepte.

Over het algemeen zullen snelle compartimenten korte, ondiepe duiken controleren. Lange ondiepe duiken en korte diepe duiken verschuiven naar de middencompartimenten, terwijl lange diepe duiken gecontroleerd zullen worden door de trage compartimenten. Het controlerende compartiment zal dikwijls verschuiven gedurende een decompressie. Bijvoorbeeld bij een korte diepe duik zal in het begin de trap bepaald worden door de snelle compartimenten, gezien deze snel ontgassen en zal de controle verschuiven naar de tragere middencompartimenten. Zoals je kunt begrijpen is het berekenen van al deze waarden voor een reeks van verschillende duiken naar verschillende diepte en duur nogal ingewikkeld. Nochtans is de bijbehorende wiskunde eenvoudig, maar het aantal berekeningen en het voortdurend verschuiven van het controlerende compartiment en de overeenkomstige decompressie trap, maakt het een zeer geschikte taak voor een computer.

Indien we een decompressie plannen voor een duik naar -30 meter gedurende 50 minuten, dan zouden we rechtstreeks mogen opstijgen tot de -5,5 meter trap. Het is echter beter om te kiezen voor een geschikter interval voor decompressiestops, bijvoorbeeld elke drie meter. Zo kan je opstijgen tot de dichtste trap die een veelvoud is van 3 meter en dat zich juist onder de berekende decompressietrap bevindt. In bovenstaand voorbeeld zou de deco-trap -6 meter zijn. Op deze diepte is de druk van het inerte gas in de hoger beladen compartimenten, groter dan de gasdruk van het ingeademde mengsel. Daardoor zullen deze compartimenten ontgassen. Andere compartimenten zullen een inerte gasdruk hebben die kleiner is dan de druk van het ingeademde mengsel en deze zullen verder gas opnemen. Dus moeten we de berekening verder zetten. We gebruiken dezelfde formule rekening houdend met de verminderde druk.

Gedurende het opstijgen daalt de partiële druk van het inerte gas die we inademen (P_{gas}), terwijl de druk in het compartiment (P_{begin}) nog niet is gevolgd. Zo wordt de term [$P_{\text{gas}} - P_{\text{begin}}$] uit de vergelijking negatief. Vergeet niet dat de drijvende kracht achter de gasdiffusie (in het model) het verschil is tussen de druk van het inerte gas in het compartiment en de druk van het inerte gas van de omgeving. Op 6 meter diepte is de ppN_2 in lucht = 1,26 bar. In ons voorbeeld was de stikstofdruk in de compartimenten 3 en 5 respectievelijk 3,01 en 1,33 bar. Deze zijn beiden hoger dan de 1,26 bar ppN_2 van de omgevende lucht. Bijgevolg zullen compartiment 3 en 5 ontgassen bij deze decompressiestop. De ppN_2 in compartiment 10 bedraagt echter 0,29 bar. Dit compartiment zal dus gas blijven opnemen op 6 meter diepte, maar langzamer dan op -30 meter diepte. Geleidelijk aan zal de trap minder diep worden naar gelang de compartimenten verder ontgassen totdat ze overeenkomt met de volgende deco-stop

op 3 meter. Op dat moment zullen we opnieuw stijgen tot deze stop en start het proces van vooraf aan. Tot we een punt bereiken waar de $P_{amb.tot}$ voor alle compartimenten lager of gelijk is aan 1 en dan kunnen we oppervlakte maken.

Zo makkelijk is het! De berekeningen kunnen verder gaan terwijl we aan de oppervlakte zijn (de compartimenten ontgassen voort), zo kunnen we na een oppervlakte-interval een nieuwe duik aanvatten terwijl sommige compartimenten nog niet volledig ontzadigd zijn. Deze belasting zal automatisch toegevoegd worden bij elke bijkomende gasopname gedurende de duik, zodat de decompressie moet aangepast worden. Vliegen of het stijgen in de bergen is hetzelfde als opstijgen in de atmosfeer. De berekeningen blijven dezelfde maar het stijgen van een paar duizenden meters hoogte komt overeen met een paar meter in het water. Kennen we de druk in een vliegtuigcabine (2400 meter of 0,76 bar) dan kunnen we dit gebruiken als onze trap en kunnen we doorgaan met de berekeningen tot we deze trap bereiken: dit is onze “time to fly”. Vermits de formules gebruikmaken van de partiële drukken van het inerte gas (ppN_2) zijn de berekeningen ook mogelijk voor nitrox. Zelfs voor trimix (zuurstof, stikstof en helium) en andere mengsels kan het zelfde algoritme gebruikt worden op voorwaarde dat we de halfwaardetijden en de a en de b waarden kennen voor de gassen. Wanneer men meerdere inerte gassen gebruikt gaat men de a en b waarden interpoleren.

Aanpassingen voor de werkelijke wereld.

Al het voorgaande is van toepassing voor het ZH-L16 model en niet voor ons eigen lichaam. Bühlmann voerde een grote hoeveelheid van testen uit om de ZH-L16 algoritme te bevestigen met enkel stikstof als inert gas. De halfwaardetijden voor helium waren afgeleid van deze voor stikstof en steunden op het speculatieve idee dat enkel de specifieke diffundeerbaarheid van de gassen telde. Vermits de a en b waarden afgeleid zijn van de halfwaardetijden vallen deze ook onder de edele vorm van veronderstelling. Spijtig genoeg stierf Bühlmann vooraleer hij in de mogelijkheid was om zijn theoretische heliumwaarden te onderwerpen aan uitgebreide testen. Het bleek dat zijn waarden voor helium te conservatief waren en dat had tot gevolg dat men jarenlang dacht dat de decompressietijden voor helium groter waren dan deze voor stikstof gezien de berekeningen ons dat aantoonde. Globaal genomen kunnen we stellen dat helium in werkelijkheid een deco-vriendelijker gas is dan stikstof, gezien het minder oplosbaar is in onze weefsels. De snelle diffusie van het gas is meer vatbaar voor belvorming, daardoor is er een betere controle nodig van de opstijgsnelheid en de deco-stops beginnen dieper dan voor stikstof. Het voordeel echter zijn kortere ondiepe trappen en een vermindering van de totale decompressietijd.

Een grote hoeveelheid van factoren beïnvloedt de absorptie en de eliminatie van een inert gas en onze gevoeligheid voor DKZ.

Sommige van deze factoren zijn gekend, anderen veronderstellen we en zonder twijfel zijn er nog te ontdekken. Onder de eerste twee categorieën zijn:

Herhalingsduiken, snelle stijgingen, gemiste deco-stops, zwaar werk, oefeningen gedurende decompressie, koude, vlieguren na duiken, slechte fysieke conditie, alcohol gebruik, dehydratatie, ouderdom, verbinding tussen linker en rechter kamer van het hart.

In een poging rekening te houden met sommige van deze factoren, maakte Bühlmann verschillende aanpassingen van zijn algoritme. Om duiktabellen op te stellen maakte hij de a-waarden een beetje conservatiever, voornamelijk in de middencompartimenten. Dit gaf aanleiding tot een variante van zijn algoritme en werd ZH-L16B genoemd.

Verdere veranderingen zowel voor de midden als voor de hoge a-waarden werden gebruikt in ZH-L16C deze was geschikt voor gebruik in duikcomputers, waar het gebruik van de juiste tijd en diepte metingen de conservatieve waarden voor de tabellen weg nam. Pogingen om nog andere factoren, hierboven vermeld, in rekening te nemen leidden tot de ZH-L8 ADT “adaptive” algoritme, dit wordt gebruikt in de laatste Aladin duikcomputers.

Duikcomputers en programma’s voor PC’s gebruiken deze modificaties in een poging om hun berekende duik profielen zo realistisch mogelijk te maken of juist meer conservatiever.

Appendix One

Table 1 - ZH-L16A Half-times, “a” and “b” values for nitrogen and helium

Compartment	Half-time N2	N2 a Value	N2 b Value	Half-time He	He a Value	He b Value
1	4	1.2599	0.5050	1.5	1.7435	0.1911
2	8	1.0000	0.6514	3.0	1.3838	0.4295
3	12.5	0.8618	0.7222	4.7	1.1925	0.5446
4	18.5	0.7562	0.7725	7.0	1.0465	0.6265
5	27	0.6667	0.8125	10.2	0.9226	0.6917
6	38.3	0.5933	0.8434	14.5	0.8211	0.7420
7	54.3	0.5282	0.8693	20.5	0.7309	0.7841
8	77	0.4701	0.8910	29.1	0.6506	0.8195
9	109	0.4187	0.9092	41.1	0.5794	0.8491
10	146	0.3798	0.9222	55.1	0.5256	0.8703
11	187	0.3497	0.9319	70.6	0.4840	0.8860
12	239	0.3223	0.9403	90.2	0.4460	0.8997
13	305	0.2971	0.9477	115.1	0.4112	0.9118
14	390	0.2737	0.9544	147.2	0.3788	0.9226
15	498	0.2523	0.9602	187.9	0.3492	0.9321
16	635	0.2327	0.9653	239.6	0.3220	0.9404

Appendix Two

Further reading:

The Encyclopedia of Recreational Diving - Published by PADI - ISBN 1-878663-02-X - Around £27
As an introduction to recreational diving, it's hard to beat PADI's encyclopaedia. Chemistry, physics, physiology, equipment and the aquatic environment are explained simply and clearly. Offers a great deal more than the information contained in an open water diving course without getting too technical in its language. Recently reprinted with more up-to-date information

Diving Physiology in Plain English - Jolie Bookspan - Published by UHMS Inc - ISBN 0-930406-13-3 - Around £25

The natural next-step from the "The Encyclopedia of Recreational Diving" (above), Dr Bookspan takes us to the next level and explodes a few commonly held misconceptions along the way. Some medical terms are used, but they're explained as we go along and topics such as decompression tables, immersion effects, gender issues, diving injuries, exercise and nutrition are introduced in a chatty and easy to read manner.

Pocket Medical Dictionary - Edited by Nancy Roper - Published by Churchill Livingstone - ISBN 0-443-03180-0 - Around £9

Several of the following books are written with the assumption that the reader is au fait with medical terminology. In fact this is not such a handicap for the lay reader as you may assume. For the most part the terminology is a combination of prefixes, such as "hypo" (say "high po" = under or below), a root word, such as

"glyc" (say "glike" = sugar) and suffixes, such as "ia" (say "eee aah" = a condition or process). Thus the medical term "hypoglycemia", becomes the simple "too little (blood) sugar"...easy! As you can imagine, a grasp of the meaning of a few prefixes, roots and suffixes can have you sounding like an extra from ER in no time. The Pocket Medical Dictionary, published in association with the Royal Society of Medicine, fills in the blanks in double-quick time, while "Physiology & Anatomy" (below) adds flesh to the bones.

Physiology & Anatomy - John Clancy & Andrew J McVicar - Published by Edward Arnold - ISBN 0-340-63190-2 - Around £18

This is an incredibly interesting book for the non-medical reader. Sub-titled "a homeostatic approach" it not only explains how the systems of the body work, but how they inter-react to maintain the balance ("homeostasis") that we need to sustain life and what happens when that balance is upset. Illustrated in colour throughout, it's a must.

Resuscitation Handbook - Author Peter J F Baskett - Published by Times Mirror International Publishers Ltd - ISBN 1-56375-620-X - Around £18

Advanced life support techniques for those already familiar and well practiced in basic life support. The theory presented is valuable but the practical skills can only be developed in conjunction with a properly run advanced life support course.

The Physiology and Medicine of Diving - Peter Bennett & David Elliott - Published by W B Saunders - ISBN 0-7020-1589-X - Around £45

Generally known as "Bennett & Elliott" this is the diving medical bible. In fact both Bennett and Elliott are prolific contributors to many other publications, including "Bove & Davis" (below), but this is probably the most comprehensive text on the subject available. It's uncompromisingly directed at the medically-educated reader, but don't let that put you off. Get your copies of the "Pocket Medical Dictionary" and "Physiology & Anatomy" alongside, with a pencil to make notes in the margin and you'll surprise yourself in no time.

Bove and Davis' Diving Medicine - Edited by Alfred A Bove - Published by W B Saunders - ISBN 0-7216-6056-8 - Around £25

Slimmer and less well known than the previous and following texts (around 400 pages as opposed to 600 and 550 respectively), Bove & Davis nevertheless fields heavyweight contributions from many of the professions big guns. In common with Bennett & Elliott, B&D's chapters conclude with an extensive reference section which could provide a lifetime's research in their own right. If you don't have a medical degree, keep a copy of the "Pocket Medical Dictionary" to hand.

Diving and Subaquatic Medicine - Edmonds, Lowry & Pennefather - Published by Butterworth Heinmann - ISBN - 0-7506-2131-1 - Around £35

A personal favourite, "ELP" offers in-depth information with a slightly less clinical approach. Some less-commonly published data is included (have you had "scuba diver's thigh"?) and each chapter concludes with a useful "recommended reading" section.

Tauchmedizin - A A Buhlmann - Published by Springer-Verlag - ISBN 3-540-58970-4 - Around £30
"Tauchen" is the German verb "to Dive" and you can guess the rest of the title.