

# BINNENKORT BIJ EEN DUIKCOMPUTER BIJ JOU IN DE BUURT

Het is nu 25 jaar geleden dat duikcomputers algemeen in gebruik kwamen. In die tijd is er veel veranderd, vooral in wetenschap en technologie. Desondanks zijn duikcomputers in wezen nog onveranderd. Weliswaar behandelen ze nu nitrox en trimix en zijn er verschillende “toeters en bellen” aan toegevoegd, maar de onderliggende algoritmes die alle op dit moment op de markt zijnde computers hebben, zijn nog steeds gebaseerd op het Haldane model van onafhankelijke, parallele compartimenten. Dit model wordt al honderd jaar gebruikt (“Ga weg!” zeg je nu, “Hoe zit het dan met de bellenmodellen?” Kalm maar, we komen aan ze toe).

Dit zou geen probleem zijn als het Haldanemodel echt goed werkte. Tenslotte hebben haaien al een eeuwigheid overleefd zonder enige verandering en ze worden niet als ouderwets maar als een vrijwel perfect ontwerp beschouwd gezien hun functie en overleving. Het Haldanemodel behoort bij lange na niet tot diezelfde klasse. Zijn aanvankelijke aantrekkingskracht lag in zijn relatieve eenvoud. Er bestaan al suggesties voor meer onderling geschakelde modellen, en die waren er al gedurende enige tijd, toen de duikcomputer geboren werd. Maar de vroege duikcomputers konden Haldanes model implementeren; een complexer model zou te veel voor hun geheugen en voor de mogelijkheden van de microprocessor geweest zijn.

Nu zitten we natuurlijk in een heel ander tijdperk voor wat betreft de kracht van computers en het geheugen. En onafhankelijke, parallele compartimenten doorstaan gewoon geen kritisch onderzoek. Een aantal medische en fysiologische studies hebben de snelheid onderzocht waarmee verschillende substanties, waaronder gassen, door lichaamsweefsels worden opgenomen en uitgewassen. De algehele conclusie? De resultaten komen niet overeen met het Haldanemodel waarbij de compartimenten van elkaar waren gescheiden, maar gaven aan dat er waarschijnlijk een meer met elkaar geschakelde compartimentale rangschikking bij komt kijken.

Hierbij een “waarschuwing”betreffende een nieuw geschakeld model, eentje die hoogst waarschijnlijk onderdeel gaat uitmaken van jouw duiktoekomst<sup>1</sup> : Sauls ICM. [Illustratie 1](#) laat daar de basis van zien met links een Haldane-achtig model en rechts Sauls ICM. Pijlen geven aan waar gassen compartimenten kunnen in- en uitgaan, dus het verschil in binding tussen de twee modellen kan uit de illustratie opgemaakt worden. Iets minder duidelijk is waar de compartimenten in de verschillende modellen voor staan. Elk van de compartimenten in het Haldanemodel staat voor een weefsel dat aanleiding kan geven tot decompressieziekte. (Daarom zijn al zijn compartimenten rood - voor gevaar). Weefsels die niet onder decompressieverwondingen lijden spelen in het eenvoudige Haldanemodel geen enkele rol. Hoewel de risico's van alle drie de compartimenten in een Haldanemodel inbegrepen zijn in het berekenen van het decompressierisico, is in de praktijk het risico van een bepaalde duik vooral ontleend aan het risico van een compartiment (het “controlerende compartiment”), met slechts heel weinig bijdrage van de andere compartimenten.

In Sauls ICM model daarentegen staat alleen het centrale “risicodragende” compartiment (rood) voor weefsel met een kans op decompressieverwonding; de andere compartimenten (groen) staan voor “inactieve” weefsels (zoals vetweefsel) waar geen decompressieverwonding optreedt. In plaats daarvan is hun rol om dienst te doen als ontvangers of reservoirs voor een overmaat aan gas. In eerste instantie werken deze weefsels tijdens de decompressie, als een overloop tank waardoor de gashoeveelheid die geabsorbeerd kan worden zonder schade toe te brengen toeneemt. Maar naar mate de duik doorgaat en

er steeds meer gas wordt geabsorbeerd moet je niet vergeten dat de terugbetaaltijd wel komt. De duik zal tot een einde komen en je zult aan je opstijging beginnen. Het “overloopgas” is niet verdwenen. Als je decomprimeert moet het risicodragende compartiment niet alleen het gas uitwassen dat er al in zit, maar ook het “terugbetaalgas” dat nu van de andere compartimenten terugkomt. (Dit verhoogt trouwens het belang van langzame opstijgingen en veiligheidsstops). Natuurlijk wordt er tijdens heel laag risico duiken relatief weinig gas tijdens de compressie geabsorbeerd, wat een lage concentratie van gas in zowel het risicodragende als in andere compartimenten tot gevolg heeft.

Met een geringe concentratie van gas in de reservoirs verloopt het terugbetalen tijdens decompressie heel langzaam en daar het risicodragende compartiment zijn eigen geringe concentratie aan gas tegelijkertijd uitwast, is de kans op DCZ minder dan het anders zou zijn. Intuïtief lijkt dit verstandig als je bedenkt hoe het lichaam in zijn geheel functioneert. Maar intuïtie is slechts van beperkt nut. De echte test is hoe goed het model zelf functioneert. En het wordt steeds duidelijker dat dit model verreweg superieur is aan de bestaande modellen in het voorspellen van de waarschijnlijkheid van decompressieziekte.

Wat bedoel ik hier nu precies mee? Het is duidelijk dat modellen niet psychisch zijn. Dit is hoe de vergelijking in zijn werk gaat. In de praktijk worden modellen voorgesteld door vergelijkingen. In wezen is een vergelijking alleen maar een reeks wiskundige operaties uitgevoerd met behulp van cijfers op een of twee manieren: als variabelen of als constanten. In duikmodellen staan variabelen over het algemeen voor zaken als tijd, diepte, of de duik al dan niet “deco” tot gevolg had – in wezen zaken die variëren met de gegevens. Constanten zijn cijfers die deel uitmaken van de vergelijking zelf – cijfers die constant blijven ongeacht de gegevens die je invoert. Voordat je een model kunt gebruiken – wat in essentie begint als een theoretisch raamwerk – moet je het aanpassen aan een aantal werkelijke gegevens van het soort dat je hoopt te voorspellen. Dit wordt “calibreren” genoemd. Tijdens het proces van het calibreren van een gegeven set data worden dingen een beetje vreemd: de variabelen blijven in feite constant (omdat het voorbeeldset gegevens niet verandert) terwijl de constanten variëren (omdat je verschillende waarden voor je constanten probeert om te zien welke van je voorspellingen je het dichtst bij de voorbeeld gegevens brengt). Als de beste waarden voor de constanten zijn vastgesteld, kan het model tot een functionerend algoritme worden gevormd.

Een maat voor het voorspellend vermogen – de meest elementaire – zou zijn hoe goed het model past op de feitelijke gegevens die je gebruikt hebt voor het calibreren. Maar op een bepaalde wijze is dit de minst belangrijke meting. Er is een zekere overeenkomst met het voorspellen van het verleden. Je weet al wat er gebeurd is en je vormt je model op zo’n manier dat het klopt met wat gebeurd is. Toch heeft het een zekere waarde – als deze meting niet klopt, is je model toost – maar het is niet meer dan een beginpunt. De volgende stap is om te kijken hoe goed het model werkt met een andere reeks gegevens, maar wel een die nog steeds lijkt op de reeks calibreergegevens. Je voorspelt nu niet meer het verleden. Als je voor deze test slaagt, heeft je model een zekere consistentie, hoewel wel met een beperkte reikwijdte. De meeste modellen die voldoen aan de eerste meting, zullen ook aan deze voldoen.

Maar voor een zekere mate van echte kracht van een model moet je kijken hoe goed het werkt in het voorspellen van het risico bij een reeks profielen die volledig buiten de reikwijdte ligt van het risico vertegenwoordigd door de calibreerprofielen. Dus hoe goed doen modellen het die gecalibreerd zijn met gebruik van gematigd risico gegevens als ze toegepast worden op een volledig andere reeks duiken waarbij het risico op decompressieziekte beduidend groter is? Laten we naar een extreem geval kijken. US Navy onderzoekers hebben gekeken naar aantallen gevallen van decompressieziekte bij saturatieduiken op de echte schaal van “denk-er-zelfs-nietaan- om-dit-thuis-te-proberen. Ze hebben dit gedaan om de risico’s te bepalen bij directe opstijgingen vanuit een kapotte onderzeeër. Vanwege het zeer hoge risiconiveau dat men verwachtte, zijn er voornamelijk ratten en cavia’s gebruikt maar ze konden

berekenen hoe hun dierresultaten toegepast konden worden bij mensen. De punten tonen het verwachte risico van decompressieziekte voor ieder van de drie profielen: alle waren directe opstijgingen bij saturatie op lucht op 10, 12 of 15 meter zeewater (mzw).

Laten we nu eens kijken hoe verschillende modellen, elk gecalibreerd met lagere risico gegevens, het doen bij het voorspellen van de resultaten die in werkelijkheid gevonden waren. De grafiek laat wat opvallende verschillen zien. De modellen die we vergeleken hebben, waren: een typisch Haldanemodel; de LE1, Sauls ICM en Sauls ICBM (een bellenversie van de Saula ICM) modellen. De LE1 stelt dat het effect van bellen toevoegt aan wat verder een Haldanemodel is. Als we naar de grafiek kijken, zien we dat Sauls ICM en ICBM modellen goed overeenkomen met de werkelijke resultaten (die snel stijgen met de saturatiediepte), terwijl de beide op bellen gebaseerde en niet bellen gebaseerde Haldanemodellen een vrijwel rechtlijnig traject volgen die de risico's op grotere diepte sterk onderschat. Het toevoegen van bellen aan beide geschakelde en onafhankelijke compartimentmodellen geeft een relatief kleine verandering in de voorspellingen, terwijl het effect van het veranderen van een onafhankelijk naar een geschakelde, compartimentale structuur enorm is.

Hoe zit het met het vergelijken van de modellen in de andere, zeer laag risico, richting die meer karakteristiek is voor het ontspannen sportduiken? Als we naar het aantal incidenten kijken bij ongeveer 10.000 duikprofielen met lucht (uit DANs Project Diver Exploration [PDE] databank) komen de geschakelde modellen het dichtst bij het werkelijke aantal hits dat zich heeft voorgedaan. Deze duiken resulteerden in slechts 10 gevallen van decompressieziekte. Laten we wat basis statistieken hierop los, dan zou tussen 5 en 18 hits redelijk in de buurt komen. Het LE1 model zou 51 hits voorspellen; een rechttoe rechtaan Haldane model zou 126 hits voorspellen, het ICM zou 10 hits voorspellen en de ICBM zou er 11 voorspellen. Opnieuw doen de geschakelde modellen het beter dan de andere. Ze zijn dus accurater voor zowel de zeer hoog risico als de heel laag risico duiken.

Als je alleen naar de laag risico resultaten kijkt, kun je de neiging krijgen te geeuwen en je af te vragen waar je je zorgen om zou maken. De bestaande modellen voorspellen dus te veel hits - nou en? Betekent dat niet dat ze conservatiever zijn dan de geschakelde modellen? En is dat in wezen niet een goede zaak waar het veiligheid betreft? De antwoorden zijn respectievelijk: "Nee," en "Dat hangt ervan af."

Weet je nog de zeer hoog risico vergelijkingen waar we eerder naar keken? De bestaande modellen hebben het risico daar schromelijk onderschat. Dat betekent dat ze onveilig zijn voor deze hoog risico profielen. Dat zou op zichzelf nog niet zo erg zijn, want je zou die profielen toch nooit duiken. Problematischer is dat hun voorspellingen niet het juiste patroon volgden. Dit maakt het waarschijnlijk dat hun voorspellingen ook het risico van minder, gematigd hoog risico profielen die je zou kunnen overwegen te gaan duiken ook schromelijk onderschatten. Is een conservatiever model (dat, zoals we gezien hebben, niet noodzakelijkerwijs de huidige modellen omschrijft) een goede zaak? Misschien wel ,als het accuraat is.

Het relatieve risico dat een duiker bereid is te nemen, is een persoonlijke beslissing. Maar zonder accurate informatie ben je niet in de positie om het werkelijke risiconiveau te beoordelen. Of je nu de veiligste optie wilt. Of dat je bereid bent wat meer risico te lopen, de sleutel tot het krijgen wat je wilt ligt in accuratesse. Zoals we gezien hebben kunnen de modellen van Saul een grote accuratesse bieden. (Natuurlijk kan dit artikel slechts een kort overzicht geven van de modellen en het onderzoek erachter. Raadpleeg voor de volledige details en downloads van onlangs gepubliceerde tijdschriftartikelen, de webstie van de auteur).

Ik verwacht dat Sauls modellen in de nabije toekomst hun opwachting zullen maken in duikcomputers en dat ze uiteindelijk de nieuwe standaard voor het duiken zullen worden. Intussen is jouw beste strategie door te gaan met duiken volgens je duikcomputer, maar je wel bewust te zijn van zijn beperkingen. Als het

erop lijkt dat er een conflict is met iets dat je je herinnert van de duiktabellen of de lessen, kies dan voor de veiliger optie. Maar bovenal: sla nooit je veiligheidsstops over.

Illustratie 1

