# HRV en Decompressie Geïnduceerde Fysiologische Stress

*Noot van de redacteur: We presenteren hier de analyse van een medewerker over een recent en veelbesproken onderwerp, dat licht werpt op een onderzoek waarbij ook onderzoekers van DAN Europe betrokken zijn. Het artikel onderzoekt het ingewikkelde verband tussen hartslagvariabiliteit (HRV) en decompressiestress.*

---

Er is niets wat duikers leuker vinden dan een manier te ontdekken om vijf minuten van hun decompressie af te knabbelen, of dat nu is vanwege een bijzonder lekker hapje dat aan het oppervlak staat te wachten of vanwege het verkrijgen van meer serieuze onderzoeksgegevens.

Dank zijn nieuw onderzoek door een team van Braziliaanse en Italiaanse onderzoekers, en een snel verbeterd inzicht betreffende decompressieongeval, kun je wellicht al gauw de manier waarop je je decompressieduiken plant helemaal veranderen. Bezig met het ontwikkelen van een instrument om decompressiestress bij duikers beter in getallen uit te drukken, is een nieuwe project erin geslaagd om een rekenmethode die al lang in gebruik is in de hart/vaatgeneeskunde en bekende markers van decompressiestress te correleren. Daarbij combineren ze die beide met een benadering die decompressieongeval niet beschouwt als een ziekte die veroorzaakt wordt door een paar schurkachtige bellen, maar als een ziekte met meerdere kanten die getriggerd wordt door de factoren die we kennen en voortkomen uit de fysiologische reacties op die triggers.

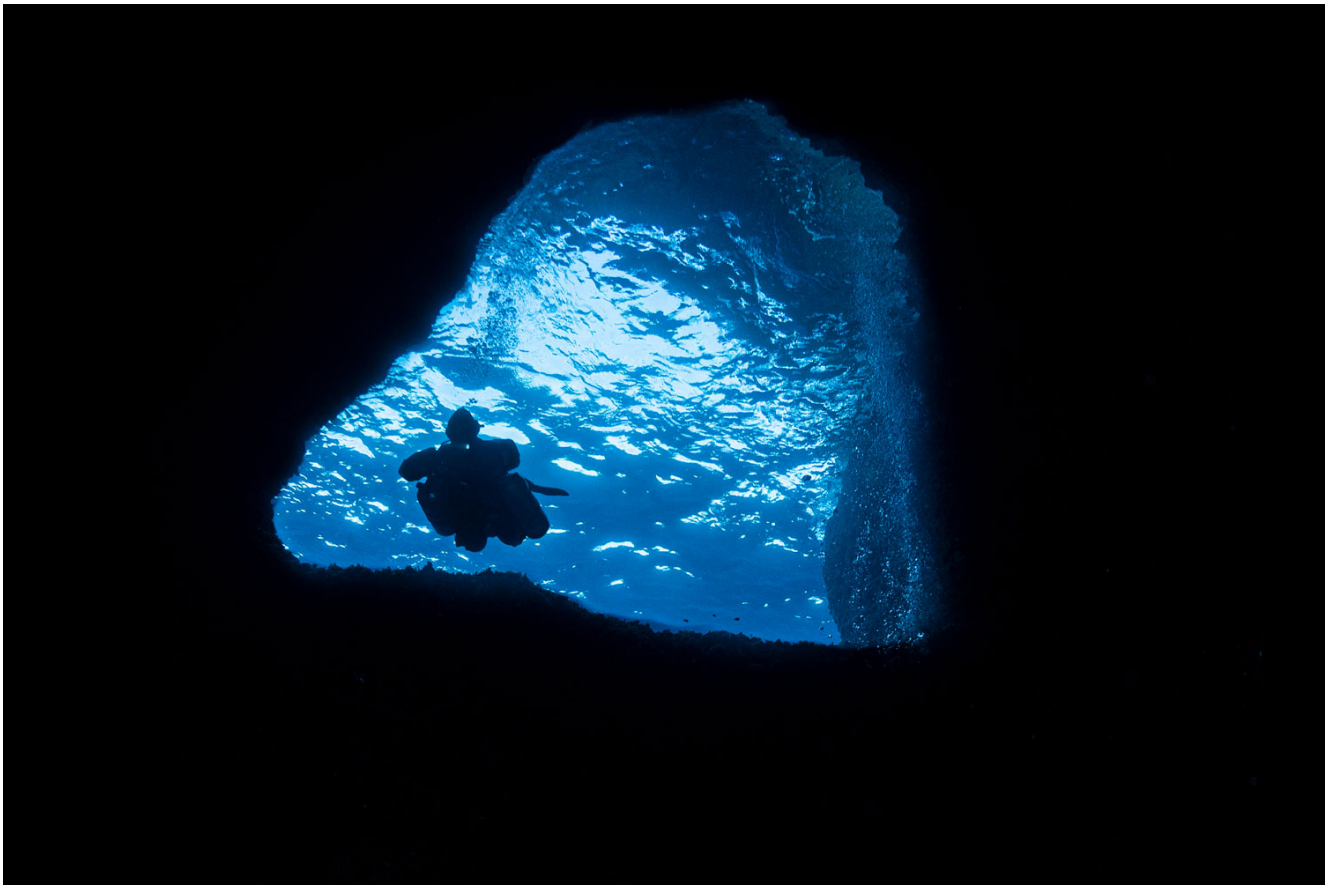
Het is niet zo dat decompressieongeval nu niets meer te maken heeft met bellen, maar het is meer dat het

niet *alleen maar* over bellen gaat. In het afgelopen decennium heeft een heleboel onderzoek een model voor decompressieziekte laten zien dat gestoeld is op een voortdurend toenemend aantal fysiologische reacties en steeds ingewikkelder, biochemische mechanismes. De katalysator voor deze verandering in het begrijpen is vooral de betrokkenheid van onderzoek naar endotheel disfunctioneren bij decompressieziekte. Signaal- en reactieprocessen van endotheel cellen worden in verband gebracht met verschillende ziekteprocessen en de belangstelling voor deze processen en de bijdrage van ontstekingsprocessen aan bekende ziektes is geëxplodeerd. Endotheel disfunctioneren is complex en evolueert nog steeds, maar wat belangrijk is om te begrijpen is dat modern onderzoek heeft aangetoond dat zelfs ziektes waarvan we dachten dat we ze helemaal begrepen wellicht niet het product zijn van een enkel offensief iets, maar een combinatie van een trigger en de eigen reactie van het lichaam – in sommige gevallen kan de ziekte geheel veroorzaakt worden door de eigen reacties van het lichaam op een trigger.

Ongelukkig genoeg betekent dit dat we decompressieongeval niet meer kunnen zien als een eenvoudige ziekte veroorzaakt door bellen in de bloedbaan. In werkelijkheid is er aangetoond dat veneuze gasembolie (feitelijke bellen in het bloed) een slechte indicator voor DCZ is en dat er een enorme variabiliteit tussen duikers bestaat. In plaats daarvan is er een correlatie tussen endotheel disfunctioneren en hyperbare blootstelling en zo moesten onderzoekers diep onderduiken in ontstekingsprocessen en wat er zit tussen de feitelijke duiken die we maken en de decompressieziekte die daarop kan volgen.

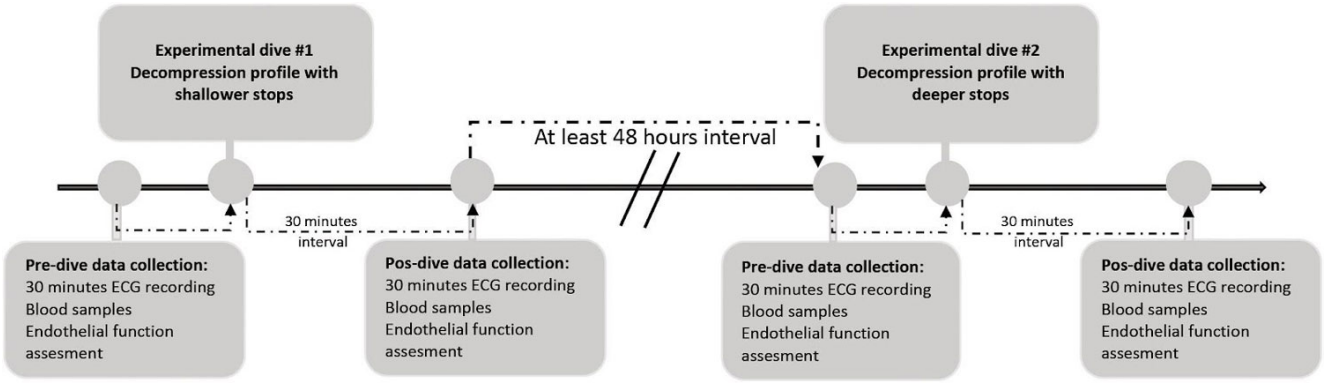
## De Rol van Hart Ritme Variabiliteit (HRV)

Hier wordt hart ritme variabiliteit (HRV) – gebruikt als een mogelijk codeschrift voor een mate van specifieke ontstekingsreacties – gecorreleerd aan uiteenlopende condities van diabetes tot hart/vaatziektes, en toont bewezen veranderingen tijdens duiken aan. Dat is waar deze laatste studie de strijd aangaat. Er is aangetoond dat microdeeltjes in het bloed correleren met ontstekingen. Van HRV is aangetoond dat die tijdens het duiken verandert en gecorreleerd is aan ontstekingen. Daarnaast is aangetoond dat microdeeltjes toenemen bij blootstelling aan inerte hyperbare gassen, zodat er een mogelijkheid bestaat dat HRV gebruikt zou kunnen worden als een handig instrument om de ontstekingsreacties bij duikers en het berekende, mogelijke risico van decompressieongeval in te schatten. Als dit ambitieus klinkt is dat omdat het dat is, maar als de correlatie tussen hart ritme variabiliteit en door decompressie geïnduceerde fysiologische stress bevestigd zou kunnen worden zou dat geweldig krachtig kunnen zijn, zowel als instrument voor het begrijpen van hoe en waarom duikers gewond raken, wat de fysiologische reacties op decompressiestress zijn en het zou een methode kunnen bieden om het decompressierisico in het veld te berekenen. We zijn er nog niet, maar dit is een opwindende, eerste stap en het soort ding waar bellennerds over dromen.



De fundamentele research is een beetje ingewikkeld, maar de kern van dit onderzoek is het idee dat HRV gecorreleerd kan worden met ontstekingsmarkers die gerelateerd zijn aan decompressieongeval en direct gebruikt kunnen worden als een mate van decompressieongevalrisico. Dit team heeft specifiek gekeken naar markers genomen van bloedmonsters en ECG resultaten om te beginnen HRV te correleren met deze ontstekingsmarkers. 28 vrijwilligers werden ieder meegenomen in twee apart duikprofielen in een van de drie onderzoeksinstellingen. De duikprofielen hadden allemaal dezelfde totale decompressietijd en gasoververzadiging, hoewel ze verschilden in de diepte van de decompressiestops om wat variatie aan te brengen. Intervals tussen de duiken en het verzamelen van de data waren gelijk.

Researchers consolideerden de data tussen de twee profielen zodat ze als een enkele dataset konden worden geanalyseerd. Afhankelijk van de onderzoeksinstelling gebruikten deelnemers gesloten systeem rebreathers, door de hyperbare kamer aangeboden ademgas of een open systeem duikuitrusting. Pre- en post- duik ECG en bloedmonsters werden verkregen met een 30 minuten buffer voor en na iedere duik en er was een minimum interval van 48 uur tussen de duiken vereist  om het vermengen van data te voorkomen door de nog aanwezige effecten van een eerdere blootstelling.



Illustratie: Procedure stroomschema – *Overeenkomsten tussen Hart Ritme Variabiliteit en Decompressie – Geïnduceerde Fysiologische Stress*

Significante, verzamelde resultaten zijn geanalyseerd op een manier die het beste door de auteurs zelf beschreven kan worden,  en die vervolgens gebruikt zijn om een theoretisch model te ontwikkelen om de resultaten van een relatief, kleine onderzoeksgroep te extrapoleren en ze te modelleren volgens een datareeks die ongeveer 1.000 duiken omvat. Er zijn onder de post-analyse data een aantal interessante wegen die bewandeld kunnen worden, maar de focus op het verband tussen HRV en de ontstekingsmarkers liet een statistisch significante verandering zien die een werkelijke belofte in lijkt te houden.

De data kunnen intimiderend zijn maar de belangrijkste trends kunnen gezoen worden in de de relatie tussen HF en SDNN, Annexin en MP,  en de positieve associatie tussen LF en CD66b + en CD31 + MP's. Voor diegenen die zich verloren voelen in deze massa afkortingen het betekent eigenlijk allemaal dat de verschillende datacorrelaties samen lijken te komen op een manier die statistisch valide bewijs aantoont voor de hypothesen van de onderzoekers.

| | SDNN | | LF | | HF | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Estimate** | ***p*-value** | **Estimate** | ***p*-value** | **Estimate** | ***p*-value** |
| CD16 + | −22.89 | 0.09 | −5.11 | 0.24 | −0.94 | 0.25 |
| MPO (%) | −2.68 | 0.91 | 1.08 | 0.89 | −1.66 | 0.25 |
| MPO (MFI) | 0.44 | 0.01 | 0.07 | 0.23 | 0.01 | 0.28 |
| Annexin + | −125.37 | 0.03 | −25.45 | 0.16 | −7.70 | 0.02 |
| CD66b + | 195.27 | 0.74 | 376.92 | 0.04 | 34.12 | 0.33 |
| CD31 + | 78.87 | 0.72 | 122.34 | 0.08 | 2.00 | 0.88 |
| CD41 + | 3.14 | 0.52 | 1.83 | 0.23 | 0.09 | 0.74 |

Post-model relaties tussen HRV indicatoren, MPO en MP – *Associatie Tussen Hart Ritme Variabiliiteit en Decompressie – Geïnduceerde Fysiologische Stress*

*NB: LF en HF zijn laag- en hoogfrequentie filters die gebruikt worden bij ECG studies –beide staan voor verschillende facetten van elektrocardiografische HRV analyse. De verschillen zijn niet van essentieel belang voor het in grote lijnen begrijpen van deze studie, maar er is meer informatie beschikbaar voor geïnteresseerden.*

## Conclusie

Als je het gevoel hebt dat dit allemaal een beetje veel is voor een ontspannen middagje lezen, is dat omdat dat zo is. Het aantal variabelen dat van invloed is op ontstekingsprocessen, decompressieongeval en zelfs de alledaagse HVR data bij dezelfde persoon zijn bijna ontelbaar. Om er zo veel mogelijk in beeld te brengen vergt een enorme hoeveelheid fundamenteel onderzoek en experimentele planning. Begrijp de modellen voldoende om het onderzoek te valideren en focus daarna op de resultaten – wat in dit geval

vooral lijkt te wijzen op een correlatie tussen HRV na decompressie en de indicatoren voor een fysiologische ontstekingen en stress waar de onderzoekers voor gekozen hebben. Dit is overigens helemaal geen reden om een hartritmemonitor te kopen en je decompressie zo kort als je maar kunt te gaan maken, maar het is een veelbelovende bevinding en een opwindende mogelijkheid voor de toekomst. Het is het waard om op te merken dat modellen betreffende dieren de data van deze studie tegenspreken en de resultaten kunnen uiteenlopen in het geval van iemand die decompressieziekte heeft, maar de mogelijkheden voor toekomstig onderzoek zijn enorm.

Als dit verband tussen HRV en decompressiestress verder gevalideerd kan worden bestaat er een mogelijkheid dat modellen kwalitatief gevalideerd kunnen worden door duikers in real time en dat er een werkelijk begrip van de onbekende factoren tussen weefsel oververzadiging en decompressieongeval eindelijk mogelijk wordt. Als dit model gevalideerd wordt zouden we wel eens fundamentele veranderingen kunnen zien in de manier waarop decompressie wordt gepland en decompressieongeval wordt begrepen en behandeld. Met de mogelijkheid van populaire consumententechnologie om hartritmestoornissen via een polshorloge te identificeren is het niet onmogelijk dat we uiteindelijk iets als dit HRV model opgenomen zien worden in toekomstige duikcomputers. Dit is niet iets dat de manier waarop je nu duikt zal veranderen, maar deze studie en dit onderzoek naar nieuwe modellen van meervoudige begrip van decompressieongeval zul je vast en zeker in de toekomst opwindend vinden.

---

## Geciteerde bronnen


1. Brubakk, A. O., Duplancic, D., Valic, Z., Palada, I., Obad, A., Bakovic, D., et al. (2005). A single air dive reduces arterial endothelial function in man. *J. Physiol.* 566, 901–906. doi: 10.1113/jphysiol.089862
2. Papadopoulou, V., Germonpré, P., Cosgrove, D., Eckersley, R. J., Dayton, P. A., Obeid, G., et al. (2018). Variability in circulating gas emboli after a same scuba diving exposure. *Eur. J. Appl. Physiol.* 118, 1255–1264. doi: 10.1007/s00421-018-3854-7
3. Doolette, D. J. (2016). Venous gas emboli detected by two-dimensional echocardiography are an imperfect surrogate endpoint for decompression sickness. *Diving Hyperb. Med.* 46, 4–10.
4. Cognasse, F., Hamzeh-Cognasse, H., Laradi, S., Chou, M.-L., Seghatchian, J., Burnouf, T., et al. (2015). The role of microparticles in inflammation and transfusion: a concise review. *Transfus. Apher. Sci.* 53, 159–167. doi: 10.1016/j.transci.2015.10.013
5. Noh, Y., Posada-Quintero, H. F., Bai, Y., White, J., Florian, J. P., Brink, P. R., et al. (2018). Effect of shallow and deep SCUBA dives on heart rate variability. *Front. Physiol.* 9:110. doi: 10.3389/fphys.00110
6. Appel, M. L., Berger, R. D., Saul, J. P., Smith, J. M., and Cohen, R. J. (1989). Beat to beat variability in cardiovascular variables: noise or music? *J. Am. Coll. Cardiol.* 14, 1139–1148. doi: 10.1016/0735-1097(89)90408-7
7. von Känel, R., Nelesen, R. A., Mills, P. J., Ziegler, M. G., and Dimsdale, J. E. (2008). Relationship between heart rate variability, interleukin-6, and soluble tissue factor in healthy subjects. *Bone* 23, 1–7. doi: 10.1038/jid.2014.371
8. Schirato SR, El-Dash I, El-Dash V, Bizzarro B, Marroni A, Pieri M, Cialoni D and Chaui-Berlinck JG (2020) Association Between Heart Rate Variability and Decompression-Induced Physiological Stress. Front. Physiol. 11:743. doi: 10.3389/fphys.2020.00743

## Over de auteur

Reilly Fogarty is een in New England gevestigde rebreatherinstructeur en USCG gelicenseerde kapitein. Zijn professionele achtergrond omvat chirurgische en wildernis eerstehulp, hyperbaar onderzoek en op grote schaal verminderen van duikrisico en het ontwikkelen van eerstehulpprogramma's afhandeling. Inhet verleden heeft hij gewerkt aan experimenten met mensen via extreme blootstellingsfysiologie voor het Duke Center for Hyperbaric Medicine and Environmental Physiology en als de Risk Mitigation Team Leider voor Divers Alert Network.

---

**Vertaler:** Els Knaapen